

**Untersuchungen zur Mobilität der cervicalen Bandscheiben
sowie
Studien über die Anatomie des
cervicalen und lumbalen Bewegungssegmentes**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Christoph Stahl

1977

1978

Aus der Orthopädischen Klinik der
Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. K. P. Schulitz

Untersuchungen zur Mobilität der
cervikalen Bandscheiben
sowie
Studien über die Anatomie des
cervikalen und lumbalen
Bewegungssegmentes

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Christoph Stahl

1977



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf.

Der Dekan
der Medizinischen
Fakultät der Universität
Düsseldorf
gez.: Prof. Dr. A. Hopf

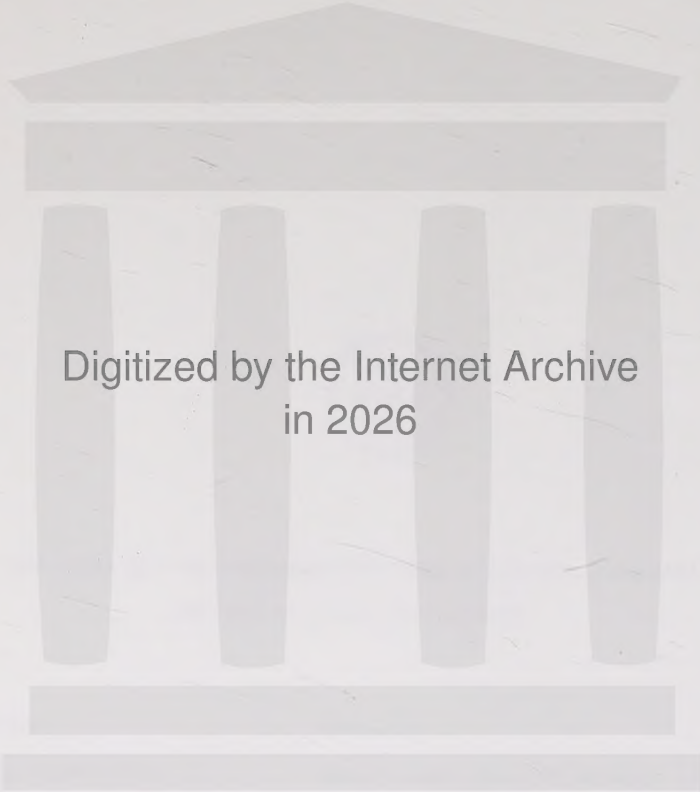
Referent
gez.: Prof. Dr. J. Krämer

Korreferent
gez.: Priv.-Doz. Dr. D. Moschinski

10.11.17

FÜR MEINE ELTERN UND MEINE FRAU

1. Einleitung 1
2. Die Bedeutung der Arbeit 2
3. Die Bedeutung der Arbeit 3
4. Die Bedeutung der Arbeit 4
5. Die Bedeutung der Arbeit 5
6. Die Bedeutung der Arbeit 6
7. Die Bedeutung der Arbeit 7
8. Die Bedeutung der Arbeit 8
9. Die Bedeutung der Arbeit 9
10. Die Bedeutung der Arbeit 10
11. Die Bedeutung der Arbeit 11
12. Die Bedeutung der Arbeit 12
13. Die Bedeutung der Arbeit 13
14. Die Bedeutung der Arbeit 14
15. Die Bedeutung der Arbeit 15
16. Die Bedeutung der Arbeit 16
17. Die Bedeutung der Arbeit 17
18. Die Bedeutung der Arbeit 18
19. Die Bedeutung der Arbeit 19
20. Die Bedeutung der Arbeit 20
21. Die Bedeutung der Arbeit 21
22. Die Bedeutung der Arbeit 22
23. Die Bedeutung der Arbeit 23
24. Die Bedeutung der Arbeit 24
25. Die Bedeutung der Arbeit 25
26. Die Bedeutung der Arbeit 26
27. Die Bedeutung der Arbeit 27
28. Die Bedeutung der Arbeit 28
29. Die Bedeutung der Arbeit 29
30. Die Bedeutung der Arbeit 30
31. Die Bedeutung der Arbeit 31
32. Die Bedeutung der Arbeit 32
33. Die Bedeutung der Arbeit 33
34. Die Bedeutung der Arbeit 34
35. Die Bedeutung der Arbeit 35
36. Die Bedeutung der Arbeit 36
37. Die Bedeutung der Arbeit 37
38. Die Bedeutung der Arbeit 38
39. Die Bedeutung der Arbeit 39
40. Die Bedeutung der Arbeit 40
41. Die Bedeutung der Arbeit 41
42. Die Bedeutung der Arbeit 42
43. Die Bedeutung der Arbeit 43
44. Die Bedeutung der Arbeit 44
45. Die Bedeutung der Arbeit 45
46. Die Bedeutung der Arbeit 46
47. Die Bedeutung der Arbeit 47
48. Die Bedeutung der Arbeit 48
49. Die Bedeutung der Arbeit 49
50. Die Bedeutung der Arbeit 50
51. Die Bedeutung der Arbeit 51
52. Die Bedeutung der Arbeit 52
53. Die Bedeutung der Arbeit 53
54. Die Bedeutung der Arbeit 54
55. Die Bedeutung der Arbeit 55
56. Die Bedeutung der Arbeit 56
57. Die Bedeutung der Arbeit 57
58. Die Bedeutung der Arbeit 58
59. Die Bedeutung der Arbeit 59
60. Die Bedeutung der Arbeit 60
61. Die Bedeutung der Arbeit 61
62. Die Bedeutung der Arbeit 62
63. Die Bedeutung der Arbeit 63
64. Die Bedeutung der Arbeit 64
65. Die Bedeutung der Arbeit 65
66. Die Bedeutung der Arbeit 66
67. Die Bedeutung der Arbeit 67
68. Die Bedeutung der Arbeit 68
69. Die Bedeutung der Arbeit 69
70. Die Bedeutung der Arbeit 70
71. Die Bedeutung der Arbeit 71
72. Die Bedeutung der Arbeit 72
73. Die Bedeutung der Arbeit 73
74. Die Bedeutung der Arbeit 74
75. Die Bedeutung der Arbeit 75
76. Die Bedeutung der Arbeit 76
77. Die Bedeutung der Arbeit 77
78. Die Bedeutung der Arbeit 78
79. Die Bedeutung der Arbeit 79
80. Die Bedeutung der Arbeit 80
81. Die Bedeutung der Arbeit 81
82. Die Bedeutung der Arbeit 82
83. Die Bedeutung der Arbeit 83
84. Die Bedeutung der Arbeit 84
85. Die Bedeutung der Arbeit 85
86. Die Bedeutung der Arbeit 86
87. Die Bedeutung der Arbeit 87
88. Die Bedeutung der Arbeit 88
89. Die Bedeutung der Arbeit 89
90. Die Bedeutung der Arbeit 90
91. Die Bedeutung der Arbeit 91
92. Die Bedeutung der Arbeit 92
93. Die Bedeutung der Arbeit 93
94. Die Bedeutung der Arbeit 94
95. Die Bedeutung der Arbeit 95
96. Die Bedeutung der Arbeit 96
97. Die Bedeutung der Arbeit 97
98. Die Bedeutung der Arbeit 98
99. Die Bedeutung der Arbeit 99
100. Die Bedeutung der Arbeit 100



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Einleitung	3
A. Allgemeine Grundlagen	4
I. Morphologie des Bewegungssegmentes	4
II. Biochemie der Bandscheibe	8
III. Allgemeine Biomechanik und Physiologie des Zwischenwirbelabschnittes	9
B. Spezielle Grundlagen zur HWS	12
I. Morphologie	12
II. Biomechanik	15
III. Klinik	17
C. Eigene Untersuchungen	18
I. Untersuchungsmaterial	18
II. Experimente zur Beweglichkeit der cervikalen Bandscheiben	19
1) Vorversuche	19
a) Kontrastmittelinjektion	19
b) Splintwanderung an aufgeschnittenen Präparaten	21
c) Verwendung von Messingplatten und Belastungsbegründung	22
2) Versuchsmethode	24
3) Auswertungsmethode	29
4) Versuchsergebnisse	32
a) Lateralflexion	32
b) Flexion und Extension	46
III. Untersuchungen über die Anatomie des cervikalen Bewegungssegmentes	53
1) Bestimmung der vorderen, hinteren und "mittleren" Höhe der Bandscheiben	53
2) Anatomie der Processus uncinati	54
3) Anatomie der uncovertebralen Bandverbin- dungen und des Ligamentum longitudinale posterius	60
4) Aufhängebänder der Arteria vertebralis und des Ganglion bzw. Nervus spinalis	63
IV. Untersuchung zur Form des Ligamentum longitudinale posterius an der LWS	65

D. Diskussion	67
E. Zusammenfassung	72
F. Tabellarischer Anhang	75
Literatur	87

Einleitung

In der Literatur werden unterschiedliche Meinungen zur Bewegungsrichtung zentralen Bandscheibengewebes bei asymmetrischer Belastung vertreten.

Klinische, röntgenologische und pathologisch-anatomische Arbeiten über die HWS liegen in ausreichender Zahl vor. Experimentelle Studien, die sich mit der Mobilität des zentralen Gewebes der Halsbandscheiben beschäftigen, fehlen.

In den nachfolgenden Untersuchungen sollen Richtung und Ausmaß dieser Mobilität geprüft werden. Die "Versuchsmethodik" für unsere Experimente wurde zusammen mit G. Vogel erarbeitet, die sich mit der Mobilität der lumbalen Bandscheiben beschäftigte.

Es soll durch unsere Experimente ein Versuch unternommen werden, Klinik und Morphologie mehr miteinander in Verbindung zu bringen. Denn die Morphologie beeinflusst die Biomechanik der Bewegungssegmente, welche selbst wieder in einem gewissen Rahmen die klinischen Symptome bestimmt.

Gewissermaßen als Abfallprodukt bei der Herstellung von Präparaten und der Auswertung von Röntgenbildern fielen einige anatomische Besonderheiten auf, die erwähnenswert schienen.

A. Allgemeine Grundlagen

I. Morphologie des Bewegungssegmentes

Das Bewegungssegment (Junghanns 1968) stellt die Bau- und Funktionseinheit der Wirbelsäule dar. Man rechnet hierzu die untere - bzw. obere Hälfte zweier angrenzender Wirbelkörper mit ihren Knorpelplatten und Randleisten sowie die Wirbelbögen mit den Gelenken und die eigentliche Bandscheibe. Es werden ebenfalls in diese Funktionseinheit einbezogen: Bandverbindungen (vor allem das vordere und hintere Längsband und an der HWS die uncovertebralen Bänder), Nerven, Gefäße und Muskeln.

1. Die hyalinknorpelige Schlußplatte gehört nicht zur Bandscheibe und besitzt bis zum 30. Lebensjahr (wenn auch spärlich) Blutgefäße. Sie ist seitlich von der umlaufenden Randleiste umgeben, die erst zum Wachstumsabschluß mit den Wirbelkörpern knöchern verschmilzt.

2. Die Bandscheibe, die im allgemeinen grob anatomisch in den Faserring und den Gallertkern unterteilt wird, läßt schon im frühen Embryonalstadium eine dreiteilige Bandscheibenanlage (Töndury 1958) erkennen: Die Außenzone des Faserrings, die Innenzone des Faserrings und das Chordasegment. Die innere Zone verbindet als zellreicher, hyalinknorpeliger Ring die beiden Wirbelkörper miteinander und grenzt sich scharf gegen das Chordasegment ab. Die Außenzone schließt sich weiter peripher an. In ihr sind die Kerne der Fibroblasten in regelmäßigen Bogen angeordnet, und die ersten Fasern werden sichtbar. Die großblasigen Zellen des Chordasegmentes bilden einen lockeren Verband, dessen Lücken sich mit

Schleim füllen. Im Laufe der weiteren embryonalen Entwicklung wandelt sich der Hyalinknorpel der Innenzone um; aus den äußeren Teilen entsteht Faserknorpel, der sich aufgrund seines größeren Reichtums an Grundsubstanz und Kernen von der Außenzone des Faserringes unterscheidet, während die inneren Anteile sich in die Gallertmasse des Nucleus pulposus umwandeln. Der Endzustand nach der Geburt stellt sich uns also folgendermaßen dar. Die Bandscheibe besteht aus: a) dem Faserring mit einer äußeren, strafferen und kernärmeren Schicht sowie einer inneren Zone mit mehr Grundsubstanz, b) dem Nucleus pulposus, der zwar ursprünglich aus dem Chordarestsegment hervorgeht, später aber immer mehr durch schleimig umgewandelten Faserknorpel ersetzt wird, so daß die Chordazellen nach der Geburt bald verschwinden.

Die angedeutete Dreiteilung der Bandscheibe läßt sich an dem Horizontalschnitt einer jugendlichen lumbalen Bandscheibe verfolgen, die einer hypotonen Lösung ausgesetzt war. Je mehr Grundsubstanz vorhanden ist, um so größer ist auch das Wasseraufnahmevermögen (Fähigkeit der sauren Mucopolysaccharide). Der Nucleus schwillt am meisten an, die äußeren Anteile des Faserringes kaum. Dazwischen liegt eine Zone, der innere Anteil des Faserringes nämlich, die zwar nicht so viel Wasser aufzunehmen vermag wie der Nucleus, die aber doch eine beträchtliche Schwellung zeigt. Im höheren Lebensalter läßt sich die Bandscheibe nicht mehr so klar aufgliedern, denn es tritt von den Randpartien aus eine fibröse Umwandlung des Nucleus ein. Folge davon wiederum ist der zunehmende Wasserverlust der Bandscheibe.

Die Faserringlamellen zeigen einen spiraligen Verlauf, wobei nur die Kollagenfasern in einer Lamelle parallel zueinander verlaufen. In den äußeren Anteilen des Faserrings werden die einzelnen Lamellen durch sog.

Spannfasern miteinander verbunden. Seine Randzone (Randleistenanulus) ist zusätzlich durch Sharpey-fasern in der knorpeligen bzw. später knöchernen Randleiste verankert. Ventral und seitlich ist der Faserring breiter, die Lamellen sind zahlreicher und dicker. Dorsal ist er schmal und besitzt nur wenige dünne Lamellen.

In der Außenzone des Faserringes Neugeborener breiten sich dorsolateral zwischen den Lamellen Blutgefäße aus, die sich aber nach dem 2. Lebensjahr wieder zurückbilden und bei Vierjährigen kaum noch anzutreffen sind (Töndury 1955). Erst bei stark degenerierten Bandscheiben finden sich im Gefolge von Reparationsvorgängen wieder Blutgefäße (Hassler 1969).

3. Das vordere Längsband verbindet die Wirbelkörper, das hintere die Bandscheiben (Fick 1904, Benninghoff-Goerttler 1957, Rauber-Kopsch 1968, Junghanns 1968).

Nach Stofft (1966, 1968) strahlt dagegen ein tiefer transversaler Anteil des vorderen Längsbandes in den Faserring der Bandscheiben ein. An der Halswirbelsäule soll im Gegensatz zur mittleren Brust- und Lendenwirbelsäule keine feste Verankerung des hinteren Längsbandes in den Faserringlamellen bestehen.

Das hintere Längsband wird schon von Fick (1904) in drei makroskopisch erkennbare Abschnitte eingeteilt. Im Halsbereich liegt es als gleichmäßig breite Bindegewebsplatte vor. Nach einer Verjüngung im oberen Brustbereich, gibt es schon im mittleren Brustbereich auf Höhe der Zwischenwirbelscheiben zur Seite umbiegende Fasern ab. Der Lendenbereich weist eine massive Verbreiterung des Bandes an den Zwischenwirbelscheiben und eine Verschmälerung über den Wirbelkörpern auf.

Vor allem im hinteren Längsband sind zahlreiche sensible Nervenendigungen nachgewiesen worden; im Innern der Bandscheibe gibt es jedoch keine Schmerzrezeptoren.

4. Die Wirbelgelenke besitzen (Schmincke und Santo 1932, Zukschwerdt et al. 1955) halbmondförmige Scheiben im Gelenkspalt (Disci), die in allen Abschnitten der Wirbelsäule vorhanden sind. Zusätzlich findet man besonders an der Lendenwirbelsäule sich vom Ligamentum flavum abgrenzende kleine Fettgewebspolster. Dieses Fettgewebe ist in früher Jugend oft noch spärlich entwickelt. Sowohl im Polster als auch in den Disci kommen in den ersten Lebensjahren reichlich Gefäße vor.

5. Eine besondere Bedeutung kommt dem vertebralen klappenlosen Venensystem zu (Clemens 1961). Es bildet einen äußerst wirksamen Kollateralkreislauf, der bei allen Druckerhöhungen in der Bauch-, Brust- und Schädelhöhle wirksam werden kann. Der Plexus venosus vertebralis internus wird, durch seine Lage bedingt, zu einem wichtigen Faktor bei allen Bandscheibenprotrusionen. Er liegt nämlich auf Bandscheibenhöhe direkt hinter dem dorsalen Anulus und wird auf Wirbelkörperhöhe vom hinteren Längsband übersprungen.

6. Die Rückenmarksnerven gehen aus einer sensiblen dorsalen und einer motorischen ventralen Wurzel hervor. Die sensible dorsale Nervenwurzel schwillt im Zwischenwirbelkanal zum Ganglion spinale an. Unmittelbar peripher davon entsteht durch Vereinigung der ventralen und dorsalen Wurzel ein gemeinsamer Stamm: der Nervus spinalis. Die Durascheide und die Arachnoidea gehen im Zwischenwirbelkanal in die Nervenhüllen über. Beim Austritt aus dem Foramen intervertebrale teilt sich der Spinalnerv folgendermaßen auf: a) in den ramus posterior, der um die Außenfläche des Gelenkfortsatzes herum nach dorsal abbiegt und u. a. - zusammen mit c) - die kleinen Wirbelgelenke besonders reichlich mit sensiblen Fasern versorgt, b) in den ramus anterior, c) in den ramus meningicus recurrens (Nervus sinuvertebralis, v. Luschka 1850), der in den

Wirbelkanal zurückkehrt mit einem spinalen und sympathischen Anteil (u. a. auch Versorgung des hinteren Längsbandes, der Wirbelgelenke, des epi- und periduralen Gewebes samt dem Durasack sowie der Gefäße des Wirbelkanals, d) in den ramus communicans, der zum Grenzstrang zieht.

II. Biochemie der Bandscheibe

Die Bandscheibe besteht vorwiegend aus Kollagen und sauren Mucopolysacchariden, die an Proteine gebunden sind (Proteoglykane). Daneben liegen Glykoproteine und Proteine geringen Molekulargewichtes vor (Naylor 1971). Buddecke (1964) konnte folgende SMPS-Fraktionen nachweisen: Hyaluronsäure, Chondroitin-4-sulfat, Chondroitin-6-sulfat und Keratansulfat. Mit zunehmendem Lebensalter ist ein Abfall des Gesamt-SMPS-Gehaltes zu verzeichnen. Es tritt außerdem eine Verschiebung der einzelnen SMPS-Fraktionen zueinander auf. Während man im jüngeren Lebensalter vorwiegend Chondroitinsulfat findet, erhöht sich der relative Gehalt des Keratansulfats in späteren Lebensabschnitten. Zusätzlich ändert sich das Verhältnis der Isomeren Chondroitin-4-sulfat und -6-sulfat. Während das Verhältnis zwischen erstem und viertem Lebensjahr 2 : 1 beträgt, liegt zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr vorwiegend Chondroitin-6-sulfat vor.

Der Kollagenanteil des Bandscheibengewebes steigt im Laufe des Lebens an. Buddecke (1964) stellte nur in den ersten beiden Lebensjahrzehnten eine wesentliche altersabhängige Veränderung des Kollagens fest. Der Kollagengehalt beträgt bei Geburt 43,6 % und zum Abschluß des Körperwachstums 50,9 %.

Mit den o. g. Veränderungen der SMPS ist eng der Wassergehalt der Bandscheibe korreliert. Beim Neugeborenen

beträgt der Wassergehalt des Faserringes 78 %, des Nucleus pulposus 88 % (Keyes und Compère 1932). Dieser Unterschied schrumpft im Laufe des Lebens zusammen, einhergehend mit der fibrösen Umwandlung des Gallertkerns. Im dritten Lebensjahrzehnt beträgt der Wassergehalt des Faserringes 70 % und der des Gallertkerns 76 %. Der Faserring bleibt bei einem Wassergehalt von etwa 70 % stehen, der Gallertkern gleicht sich diesem Wert dann an.

Untersuchungen prolabierte Bandscheibengewebes (Kyselka und Schramm 1970) ergaben entsprechend einer frühzeitigen Alterung leichte Kollagenerhöhungen, wobei die gefundenen Kollagenfibrillen unreifer Natur sind (Hartmann 1970, Naylor 1971). Dies wird als Zeichen des Ersatzes zugrunde gegangener reifer Fibrillen durch jüngere gedeutet. Es kommt ebenfalls zu einer frühzeitigen Verschiebung der SMPS-Fractionen bei einer geringgradigen Erniedrigung der Gesamt-SMPS.

III. Allgemeine Biomechanik und Physiologie des Zwischenwirbelabschnittes

Stofftransport und Mechanik des Zwischenwirbelabschnittes ist im wesentlichen abhängig vom Wasseraufnahmevermögen der Bandscheibe, die zusammen mit umgebendem paravertebralen Gewebe bzw. Knochenmark und Knorpelplatte ein osmotisches System darstellt. Der Nucleus pulposus wird hier von semipermeablen Schichten (Knorpelplatten und Anulus fibrosus) umgeben. Das Wasseraufnahmevermögen hängt vor allem von zwei Faktoren ab: a) dem intradiscalen onkotischen Druck und b) dem extradiscalen hydrostatischen Druck (Krämer 1973). Den variablen Anteil der beiden Komponenten stellt der hydrostatische Druck dar, der durch unterschiedliche Bewegungen und Belastungen der Wirbelsäule geändert werden kann. Der intradiscale onkotische Druck ist abhängig von Gehalt und Zusam-

mensetzung der SMPS. Mit zunehmendem Alter nimmt der intradiscale Druck durch Verminderung des SMPS-Gehaltes und Verschiebung seiner Fraktionen ab. Der hydrostatische Druck auf der anderen Seite kann unvermindert, wenn nicht sogar in verstärktem Umfang, auf die Bandscheibe einwirken. Folge davon ist ein Ausströmen von Wasser und in ihm enthaltenen niedermolekularen Bestandteilen. Dies wird noch zusätzlich begünstigt durch Anulusdefekte, die die semipermeable Schicht des Osmosesystems unterbrechen. Wie schon bemerkt, stellt der hydrostatische Druck den variablen Faktor des Systems dar. Er bewirkt bei einseitiger Belastung zunächst eine Wanderung der intradiscalen Flüssigkeit zur entlasteten Seite und bei lang anhaltendem Druck auch ein Austritt in den extradiscalen Raum. Die Bandscheibe besitzt dadurch ein statisches Anpassungsvermögen, das es ihr erlaubt, in jeder Gleichgewichtslage feinschlägige Belastungen in schnelle Formänderungen umzusetzen.

Bei einseitiger Belastung kommt es zum Ausweichen des Gallertkerns zum weniger belasteten Bandscheibenabschnitt, d. h. bei Vorbeugung nach dorsal, bei Rückneigung nach ventral und Seitneigung zur Gegenseite (Vossschulte/Börger 1950, Münchinger 1964, Junghanns 1968, Krämer 1973).

Schenk (1964), nach dem jede Abweichung des Gallertkerns von seiner Kugelform den Spannungszustand im Zwischenwirbelsystem erhöht, behauptet das Gegenteil. Er postuliert eine Bewegung des Nucleus pulposus zur belasteten Seite.

Der Anulus fibrosus wird durch die Lordose nach hinten in den Wirbelkanal vorgebuchtet, durch die Kyphose verschwindet die Vorwölbung (Vossschulte/Börger 1950).

Vossschulte/Börger haben an sagittal aufgesägten sowie an unverletzten LWS-Präparaten die Bewegung des Nucleus pulposus und des Anulus fibrosus beobachtet. Die Untersuchung mit unverletzten Bandscheiben führten sie so aus,

daß sie einen Tropfen Kontrastflüssigkeit in den Gallertkern einspritzten. Unter dem Bewegungsversuch vor dem Röntgenschirm trat eine Wanderung des Kontrastmitteltropfens ein.

Axial einwirkende Kräfte werden vom Gallertkern in horizontale umgewandelt, damit wird der Anulus beansprucht. Der Faserring besitzt vor allem aufgrund seines Baus die Fähigkeit, sich zu dehnen, d. h. horizontale Kräfte auszuhalten. In den höheren Lebensabschnitten verliert der Nucleus diese Fähigkeit zur Transformation der Axialkräfte, so daß nunmehr der Faserring unphysiologischerweise ebenfalls vertikalen und zunehmend scherenden Kräften ausgesetzt ist.

Schlüter (1964) hat mit spannungsoptischen Modellversuchen nachweisen können, daß die größten Hauptspannungsdifferenzen zentral bzw. in unmittelbarer Umgebung des Nucleus auftreten. Dies ist besonders für den Ablauf von Rißbildungen von Bedeutung.

Das verwirrende Geflecht der Bänder im Bewegungssegment wird von Langmaack (1954) als Kraftzerstreuer angesehen.

Die Wirbelgelenke bestimmen in den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule das Ausmaß der von der Bandscheibe vollzogenen Bewegungen und leisten (nach Untersuchungen an der LWS) zusammen mit den Bändern 65 % des Gesamtwiderstandes gegenüber Torsionen, wogegen die Bandscheibe selbst nur 35 % des Widerstandes aufbringt (LaRocca 1971).

B. Spezielle Grundlagen zur HWS

I. Morphologie

1. In der HWS besitzen die Wirbelkörper an ihren oberen Flächen sich lateral ausdehnende schaufelförmige Erhebungen, die sog. Processus uncinati; ihre unteren Flächen passen sich krümmungsmäßig den Erhebungen des jeweils unteren Wirbelkörpers an. Durch die besondere Form der Wirbelkörper bedingt weist die Bandscheibenhöhe in der Sagittalebene folgende Besonderheit auf: Die Disci sind beim jugendlichen Erwachsenen vorne um $\frac{1}{3}$ höher als hinten, während ihre Mitte fast doppelt so hoch ist wie der Hinterrand. (Nach Röntgenuntersuchungen von Drexler, 1962, besteht ein Verhältnis von $1,3 : 1,9 : 1$.) Die Processus uncinati bewirken, daß die Bandscheiben - im Gegensatz zu anderen Wirbelsäulenabschnitten - einen nur geringen Anteil an den Wandungen des Foramen intervertebrale haben.

Die Processus uncinati stellen entwicklungsgeschichtlich Teile der Wirbelbogen dar und verschmelzen um das 10. Lebensjahr mit den eigentlichen Wirbelkörpern (Töndury 1958/1970). Erst um das 9. Lebensjahr herum beginnen sich die - zunächst nur als seitliche Ausladungen imponierenden und durch die Wirbelbogenfuge vom WA getrennten - Processus uncinati aufzurichten. Etwa zum selben Zeitpunkt treten Risse in den seitlichen Teilen der Bandscheiben auf. Aber auch hier gibt es große zeitliche Schwankungen. Diese Uncovertebralspalten entstehen also im gesunden Gewebe als Anpassung an die Funktion der HWS. Sie schreiten später konzentrisch gegen das Bandscheibeninnere vor und halten sich dabei genau in deren Mitte. Solange noch keine seitlichen Spalten vorhanden sind, liegt der Processus uncinatus außerhalb der Bandscheibe und ragt frei ins paravertebrale Gewebe. Beim Auftreten des Uncovertebralspaltes

neigen sich die gerissenen Lamellen nach außen auf den Proc. uncinatus und seinen Gegenpol und bilden dort einen faserknorpeligen Belag. Aus dem paravertebralen Gewebe wächst ein Fettgewebskeil in den Spalt. Das Ganze wird seitlich durch gelenkkapselartige Bänder abgeschlossen (uncovertebrale Bänder).

Von Luschka (1858) stammen die ersten Berichte über seitliche Spalten im cervikalen Zwischenwirbelabschnitt, die er als außerhalb der Bandscheiben liegende seitliche Halbgelenke charakterisierte. Er beschrieb, daß diese "Gelenke" von uncovertebralen Bandverbindungen (seiner "Gelenkkapsel") überbrückt werden.

Wichtig ist nun, daß die seitlichen Spalten besonders in den oberen drei Halsbandscheiben ausgeprägt sind (Ecklin 1960). Hier treten sie früher auf und vervollständigen sich auch zunehmend zu transversalen Spalten, während die unteren beiden Bandscheiben erst sehr viel später solche Risse aufweisen und manchmal sogar ganz vermissen lassen. Dafür hat der Nucleus in diesen Segmenten ein ausgeprägtes Spaltensystem. Die durchgehenden Spalten der oberen Bandscheiben scheinen sogar ihrer Alterung entgegenzuwirken.

2. Die Halswirbelsäule besitzt ein Höchstmaß an transversalen und longitudinalen Aufhängevorrichtungen bzw. Verankerungen für Rückenmark, Durasack und Nervenwurzeln bei einem von oben nach unten kleiner werdenden sagittalen Durchmesser des Wirbelkanals und relativ kleinem Foramen intervertebrale. Es finden sich folgende Aufhängevorrichtungen an der HWS (Lanz 1928/29, Lindemann/Kuhlendahl 1953, Felten 1958): a) das Ligamentum denticulatum als frontale Verspannung des Rückenmarks innerhalb des Durasackes sowie sagittale Fasern ("vorderes Rückenmarkband" und "hinteres Septum"), b) die epiduralen Verstärkungsbänder des Durasacks am kraniovertebralen Übergang sowie die straffen Faserzüge des "Lig. interspinale cervicale", die in Fortsetzung der

Duraquerfaserung bis in die Foramina intervertebralia einstrahlen, c) sag. Spannfasern zwischen Durasack und Ligamentum long. post., weniger häufig zwischen Durasack und Wirbelbögen, d) die Einbettung der Nerven im Foramen interv. in strafffaseriges Bindegewebe, e) die durch ihren kaudalen, spitzwinklig nach ventral gerichteten Nervenwurzelverlauf bedingte Aufhängung.

3. Eine Besonderheit an der HWS stellen die Foramina transversaria mit den in ihr verlaufenden Gefäßen dar (Vena und Arteria vertebralis, die nur von C₆ bis C₂ zieht). Der aus dem Ganglion cervicale inferius entspringende Plexus vertebralis begleitet die Arteria vertebralis in Form eines verzweigten sympathischen Geflechtes. Die A. vertebralis liegt lateral vom Proc. uncinatus und wird ihrerseits dorsolateral von den zervikalen Nervenwurzeln begrenzt.

4. Pathologisch-anatomisch und röntgenologisch liegen vor allem in den Segmenten C_{5/6} und C_{6/7} deformierende Veränderungen vor. So fanden Kuhlendahl und Kunert (1954) bei 357 Patienten mit deformierenden Röntgenveränderungen zu 42 % C_{5/6}, zu 36 % C_{6/7} und zu 12 % C_{4/5} befallen. Eine Gegenüberstellung von Lebensalter und positivem Röntgenbefund (Gesamtzahl von 700 Patienten) ergab

bei 20 - 29jährigen in	3 %	deform. Veränderungen
" 30 - 39jährigen "	12 %	" "
" 40 - 49jährigen "	45 %	" "
" 50 - 59jährigen "	72 %	" "
" 60 - 75jährigen "	83 %	" "

Die Korrelation zwischen Röntgenbild und grober anatomischer Strukturveränderung ist ziemlich hoch anzusetzen. So ist wiederum nach path.-anatomischen Studien das Segment C_{5/6} am häufigsten von der Spondylosis befallen (De Palma/Rothman 1970; Friedenbergl 1959; Aufder-

maur 1960). Zu übereinstimmenden Befunden kommen diese Untersucher auch hinsichtlich der Arthrose der kleinen Wirbelgelenke. Sie findet man vornehmlich in den oberen Zervikalsegmenten. Ein "Kneifzangenmechanismus" (Junghanns 1968) ist also an der HWS nicht sehr häufig. Gemeint ist die Einengung des Foramen intervertebrale von der Bandscheibe und von arthrotischen Wirbelgelenken aus.

Aufdermaur hat die Spond. ventralis am häufigsten vorgefunden, an zweiter Stelle die Spond. uncovertebralis. Bei der Spond. uncovertebralis liegen im 4. und 5. Lebensjahrzehnt vorwiegend dorsolaterale Osteophyten vor; mit zunehmendem Alter befinden sie sich dann immer mehr lateral.

II. Biomechanik

1. Die Drehung der HWS (Rotation) wird überwiegend zwischen erstem und zweitem Wirbel vollzogen. Die Rotationsmöglichkeiten in den übrigen Abschnitten der HWS sind gering.

2. Die Seitbeugung (Lateralflexion) zeigt die größten Exkursionen zwischen C_3 und C_5 . Sie ist immer mit einer konkavseitigen Rotation verbunden; denn bei jeder starken Seitbeugung rutschen an der Bogenaußenseite die Gelenkflächen des oberen Wirbels an denen des unteren nach oben, was die Seitbeugung verstärkt, aber gleichzeitig zu einer Rotation führt. Der Grad dieser Mitbewegung ist vom Grad der Drehung abhängig sowie von Lage und Form der Gelenkflächen (Bakke 1931, Buetti-Bäumel 1954).

3. Bei Vorwärts- und Rückwärtsbeugung (Flexion und Extension) fand Buetti-Bäumel (1954) die größte Beweglichkeit zwischen C_4 und C_6 . De Sèze und Mitarbeiter (1951) stellten das Maximum der Beweglichkeit bei $C_{5/6}$ mit $27,5^\circ$,

und bei $C_{6/7}$ mit $17,5^{\circ}$ fest. Die Hyperextension wies einen größeren Bewegungsspielraum auf als die Hyperflexion.

Die Flexion führt zu einer Verschiebung des kranialen Wirbels über den kaudalen um 2 - 3 mm nach ventral, Extension zu einer gegensinnigen Verschiebung um 1 - 2 mm (Exner 1954). Es liegt somit eine Roll-Kippbewegung vor. Die Gelenkfortsätze decken sich bei maximaler Flexion nur etwa zur Hälfte.

4. Intradiscale Druckmessungen wie an der LWS (Nachemson 1959) liegen an der HWS nicht vor. Einigen Aufschluß über die Belastung der Halsbandscheiben geben lediglich die Berechnungen von Groh (1968).

Die an jeder Bandscheibe angreifenden Körperteilgewichte bewirken abhängig von der Wirbelsäulenkrümmung ein Drehmoment, das durch ein gleich großes entgegengesetztes Drehmoment der Rückenmuskulatur kompensiert werden muß. Dies führt zur Umwandlung der Biegebeanspruchung in eine zentrische (auf den Mittelpunkt der Bandscheiben ausgerichtete) Druckbelastung.

Es liegen bei ruhigem Stand an der normal gekrümmten HWS Drucke von $5,6 \text{ kp/cm}^2$ (mit Ausgleich der Biegespannungen durch Muskeln) und 40 kp/cm^2 (ohne Ausgleich der Biegespannungen) vor. Der Vergleich zur LWS sieht rechnerisch so aus, daß Drucke von $6,2 \text{ kp/cm}^2$ (mit Ausgleich) und 14 kp/cm^2 (ohne Ausgleich) auftreten. Bemerkenswert ist der enorme Belastungszuwachs für die Halsbandscheiben durch Muskelausfall, z. B. bei Fluchtbewegungen. Sie sind ansonsten auch Beschleunigungen in einem stärkeren Umfang ausgeliefert, da hier nicht wie an der BWS oder LWS ein Teil der Belastung über intrathorakale bzw. intraabdominelle Druckerhöhung aufgefangen werden kann.

III. Klinik

An der HWS spielt die Osteophytenbildung in der Uncovertebralregion eine ähnliche Rolle für die Entstehung radiikulärer Syndrome wie die dorsolaterale Protrusion an der LWS (Lindemann/Kuhlendahl 1953). Der Bandscheibenvorfall ist an der HWS relativ selten. Neuere Statistiken (Scoville/Dohrmann/Corkill 1976) bestätigen frühere Untersuchungen, daß sich der Bandscheibenvorfall hauptsächlich auf den dorsolateralen Vorfall der Segmente C_{5/6} und C_{6/7} konzentriert. Männer sind häufiger befallen und weisen ein Durchschnittsalter von 52 Jahren auf (Frauen: 48 Jahre).

Die zumeist multiplen knöchernen Schwellenbildungen an der Vorderseite des Wirbelkanals findet man auch in der mittleren HWS (Durchschnittsalter: 60 Jahre). Mediane und paramediane Bandscheibenvorfälle sind selten (Durchschnittsalter: 45 Jahre).

Die Mehrheit der HWS-Syndrome wird, wie schon bemerkt, nicht durch die eigentlichen Vorfälle verursacht, sondern durch Bandscheibenzermübrung und die sich sekundär aufpfropfenden knöchernen lateralen und dorsolateralen Randwülste. Die Lockerung im Bewegungssegment kann zu schmerzhaften Bewegungssperren führen. "Wirbelgelenkblockierungen" im Atlas-Epistropheusgelenk sind nach Lindemann/Kuhlendahl (1953) für den "rheumatischen Schiefhals" bei Jugendlichen verantwortlich. Zukschwerdt/Emminger (1955) erwägen die Möglichkeit einer solchen Genese des Schiefhalses auch für andere Zervikalsegmente.

Die neurovaskulären Störungen, die beispielsweise ins Fachgebiet der HNO fallen können, scheinen ein multifaktorielles Geschehen darzustellen, in das u. a. laterale Exostosen (Spond. uncovert.), "Wirbelgelenkblockierungen", Anlage und Verlauf der Art. vert. und nicht zuletzt auch psychische Komponenten eingehen.

C. Eigene Untersuchungen

I. Untersuchungsmaterial

Wir zogen für unsere Untersuchungen 21 Halswirbelsäulen von Individuen beiderlei Geschlechts zwischen 18 und 77 Jahren sowie 10 Lendenwirbelsäulen von Individuen zwischen 18 und 46 Jahren heran, die im Gerichtsmedizinischen Institut der Universität Düsseldorf¹ entnommen wurden.

Die von uns gewonnenen und auch in Experimenten verwandten HWS-Präparate (44 Einzelpräparate von 13 Halswirbelsäulen) sind in Tabelle 1a, b und c (S. 75- 77) in Bezug auf Alter, Geschlecht, Todesursache und röntgenologische Beschreibung der einzelnen Segmente aufgelistet². Dies geschieht deshalb, weil eine reine altersabhängige Auswertung der späteren Wanderungsergebnisse nicht möglich ist (s. "Versuchsergebnisse"). Es soll damit die Röntgenologie als grober Indikator für die Morphologie des Zwischenwirbelabschnittes dienen.

Zusätzlich zur Röntgenologie haben wir an der HWS den makroskopischen Befund der unversehrten Präparate vor Versuchsbeginn und der aufgeschnittenen Präparate nach Versuchsende erhoben. Die Makroskopie hat hinsichtlich der Präsenz von Randwülsten ergeben, daß sie besonders bei der Gruppe der 40jährigen in weitaus stärkerem Ausmaß vorliegen, als die "leichten" Röntgenzeichen das vermuten lassen. Unterhalb von 40 Jahren haben wir keinen Unterschied zwischen Röntgenologie und Makroskopie feststellen können.

Die Beschreibung der Segmente unterstreicht die bekannte Tatsache des geringeren Befallenseins der oberen Abschnitte ($C_{3/4}$ und $C_{4/5}$) von deformierenden Veränderungen (s. auch "Grundlagen").

¹ Herrn Prof. Dr. H. Schweitzer und Herrn Prof. Dr. H. Reh danke ich für die Bereitstellung des Untersuchungsmaterials.

² 11 zusätzliche Präparate wurden in den Vorversuchen eingesetzt.

In Tabelle 2 (S. 78) werden die Abstände der Processus uncinati ($C_{3/4}$ und $C_{4/5}$) bzw. die Bandscheibentiefen ($C_{5/6}$ und $C_{6/7}$) aufgeführt, da die individuellen Abmessungen der einzelnen Bandscheiben in Beziehung zur absoluten Wanderung der Metallnadel gebracht werden müssen. Einige der hier angegebenen Segmente (z. B. $C_{3/4}$, 35 J.) konnten wir nicht für unsere Experimente benutzen. Die Wirbelkörperschnittflächen bildeten eine schiefe Ebene zueinander; Folge davon wäre eine ungleiche Belastung des oberen und unteren Bandscheibenanteils.

II. Experimente zur Beweglichkeit der cervikalen Bandscheiben

Wir haben bei unseren Versuchen Bandscheibenpräparate kürzlich verstorbener Menschen untersucht. Diese In-vitro-Versuche besitzen nur eine beschränkte Aussagefähigkeit. Die In-vivo-in-vitro-Differenz wird jedoch relativ klein gehalten. Dazu tragen bei: die Bradytrophie des Bandscheibengewebes, die Präparation und Verwertung für unsere Versuche wenige Stunden nach Todeseintritt und die Lagerung der Präparate in Ringer-Lösung, die mit Totocillin versetzt wurde.

1. Vorversuche

a) Kontrastmittelinjektion

Die von Vossschulte/Börger angewandte Methode (s. A. III) führten wir an mehreren Präparaten aus. Die angefertigten Röntgenaufnahmen der Präparate eines 25jährigen ($C_{4/5}$) und eines 18jährigen ($C_{6/7}$) vor Belastung beweisen die Unmöglichkeit, an allen Bandscheiben zu einer Aussage über das Ausmaß der Nucleuswanderung zu gelangen.

Denn an den oberen Halsbandscheiben ($C_{3/4}$ und $C_{4/5}$) diffundiert das Kontrastmittel (minimale Injektionsmenge) sofort bei vorhandenem Horizontalspalt nach lateral. Die Seitenbelastung bewirkt in diesen Fällen eine Anreicherung der Kontrastflüssigkeit unter den Uncovertebralen Bandverbindungen. Eine Aussage über die Wanderung zentralen Bandscheibengewebes ist aber nicht möglich.

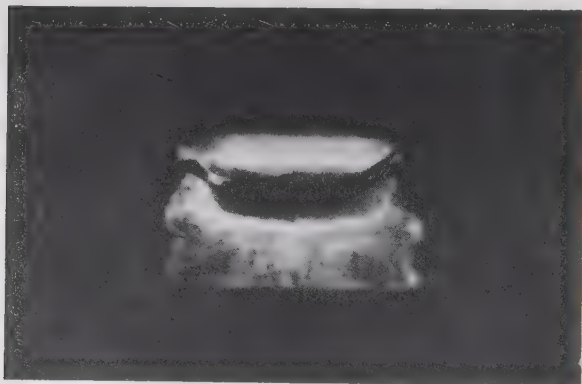


Abb. 1 Kontrastmittelinjektion in das Segment $C_{4/5}$
eines 25jährigen
(A.-p.-Röntgenaufnahme)

Die unteren Halsbandscheiben ($C_{5/6}$ und $C_{6/7}$) mit ihrer frühzeitigen Alterung (Ausbildung von zentralen Spalten) erlauben dem Kontrastmittel in entsprechenden Fällen ebenfalls eine Diffusion in die Umgebung.

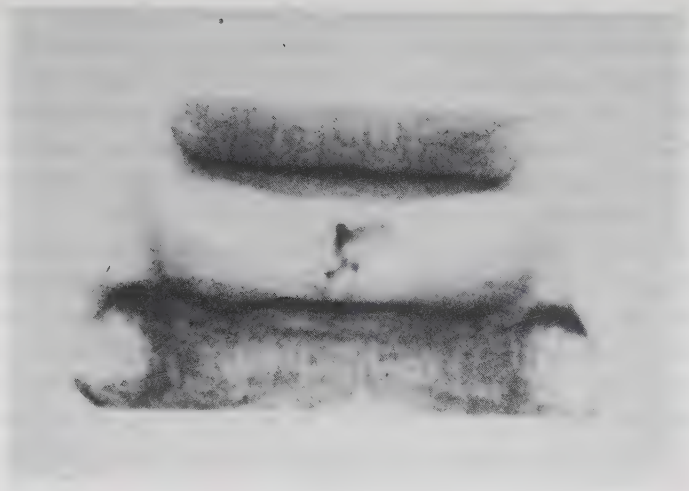


Abb. 2 Kontrastmittelinjektion in das Segment C_{6/7}
eines 18-jährigen
(A.-p.-Röntgenaufnahme)

Nur die Präparate, die einen Discus ohne Spalten und Höhlen besitzen, können der Kontrastmittelinjektion als Methode zur Nucleusbeweglichkeit unterzogen werden. Das ist zumeist der Fall in der Altersgruppe der unter 30jährigen.

Wir waren also darauf angewiesen, eine neue Methode zu entwickeln, die es uns erlaubt, das Ausmaß der Bandscheibenbewegung in allen Altersstufen zu überprüfen. Die Implantation einer kleinen Metallnadel scheint dazu am besten geeignet.

b) Splintwanderung an aufgeschnittenen Präparaten

An horizontal und frontal aufgeschnittenen Bandscheiben untersuchten wir, welche Schlußfolgerungen aus der Nadelwanderung gezogen werden können. Die Bewegung des Splints

soll als Indikator für die Mobilität der Disci dienen. Wir fanden, daß bei einer Nadelgröße von 0,5 mm im Durchmesser und einer Länge von unter 1 mm ein Katalpulteffekt nicht eintritt, d. h. der Splint wird nicht durch das Bandscheibengewebe hindurchgedrückt, sondern er macht nur träge die Bewegung des ihn umgebenden Gewebes mit. Dabei müssen wir im wesentlichen drei Möglichkeiten unterscheiden:

In Bandscheiben, die noch keine Risse und Höhlen aufweisen (in der Mehrzahl der Fälle bei Jugendlichen), ist die Metallnadel allseitig von Gewebe umgeben; sie bewegt sich mit dem Gewebe.

Sie liegt in einer Spalte des Discus, z. B. in einer Horizontalspalte hinter der "mittleren Höhe". Hier übt das umliegende Bandscheibenmaterial bei Belastung einen Druck auf die Nadel aus.

Sie befindet sich in einer größeren Spaltbildung oder Höhle. In diesem Fall tritt erst dann eine Bewegung auf, wenn sequestriertes Gewebe (, das verkalkt sein kann,) in die Nähe der Nadel gelangt (bei älteren Bandscheiben).

In allen drei Möglichkeiten wird die Mobilität des Discus angezeigt, wobei uns vor allem seine zentralen Anteile interessieren.

c) Verwendung von Messingplatten und Belastungsbegründung (s. auch "Versuchsmethode")

Als Drucküberträger erweisen sich 4 mm dicke Messingplatten am günstigsten, weil sie den Quellvorgängen in der Ringer-Lösung nicht ausgesetzt sind.

Die Größe der Platten wurde so ausgewählt, daß sie zur Halbseitenbelastung dienten, d. h. sie bedeckten flächenmäßig die Hälfte des oberen bzw. unteren Wirbelkörperanteils. Dadurch können frühzeitige Impressionsfrakturen vermieden werden, die bei Druck auf eine relativ kleine Fläche vorkommen. Außerdem mußten wir bei

Versuchen mit kleineren Platten ihr Abrutschen von den WK nach Belastung feststellen.

Da an der HWS noch keine intradiscalen Druckmessungen vorliegen, benutzten wir Belastungen, die bei den Präparaten ein ähnliches Röntgenbild ergeben wie die Funktionsuntersuchungen an der HWS von Lebenden (s. auch Buetti-Bäumli 1954). Daraus resultiert unter Halbsseitenbelastung ein Wert von ca. 100 kp, die physiologischerweise nur kurzzeitig einwirken. Wir entschieden uns zusätzlich für einen Zwischenwert von 50 kp. Längere Belastungen (über eine Stunde hinaus) bewirken keinen nennenswerten Zuwachs der Nadelwanderung und der Erniedrigung des Zwischenwirbelabschnittes. Die Standardisierung der Belastung bezogen auf die Zeit sieht für unsere Versuche somit folgendermaßen aus.

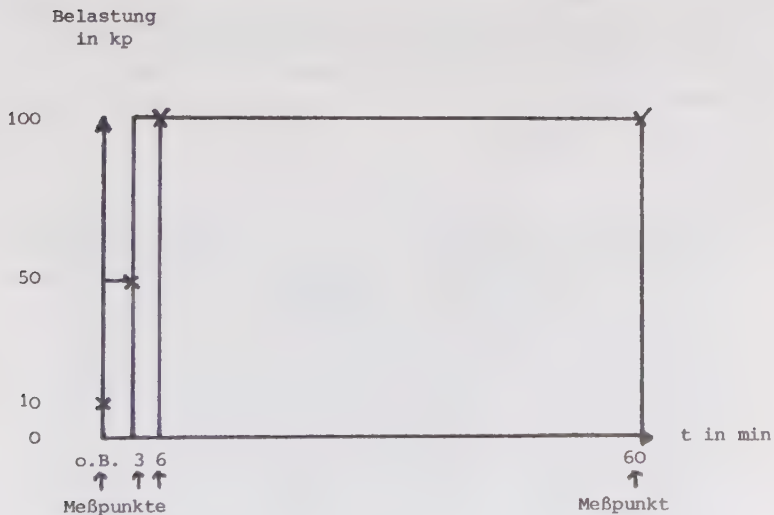


Abb. 3 Versuchsbelastung bezogen auf die Zeit

2. Versuchsmethode (Stahl/Vogel)

Die entnommenen Hals- bzw. Lendenwirbelsäulen wurden von uns nach Abtrennung von Wirbelbögen, Rückenmark und paravertebralem Gewebe in Wirbelkörpermitte horizontal durchtrennt. Wir erhielten für unsere Versuche Präparate, die aus je zwei halben Wirbelkörpern mit der dazwischenliegenden Bandscheibe bestanden. Es wurden nur die Präparate verwendet, an denen weder Wirbel- noch Bandscheibenerkrankungen vorlagen und der Anulus fibrosus äußerlich intakt war.

Wir schoben nunmehr durch eine dünne Lumbalnadel von vorne einen ≈ 1 mm langen Metallsplint in das Zentrum der Bandscheibe vor. Dieser Splint konnte (s. Fotos) in seiner Position relativ genau hinsichtlich Bandscheibentiefe und -breite festgelegt werden. Hinsichtlich der Bandscheibenhöhe waren wir (vor allem bei der HWS mit ihrer unterschiedlichen Bandscheibenhöhe vorne, hinten und in der Mitte) mehr oder weniger dem Zufall überlassen. Die Festlegung der Splintposition wurde so bewerkstelligt, daß wir an der Fläche des oberen Wirbelkörpers die Lumbalnadel anlegten und die Einstichtiefe mit einem verschiebbaren Faden, der um die Nadel geknotet war, definierten. Daraufhin stachen wir die Lumbalnadel bis zum Fadenknoten in die Bandscheibe ein und entluden sie. Diese grobe Methode ließ natürlich keine auf den Millimeter genaue Positionsfestlegung des Metallsplints in den räumlichen Achsen (x/y/z) der Bandscheibe zu. Es trat also eine gewisse Streuung ein. Die Lage des Splintes (Koordinatenbestimmung) kontrollierten wir durch Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen. Bei ungünstiger Position, z. B. in Nähe der Knorpelplatten, schoben wir einen zweiten Splint in die Bandscheibe nach.

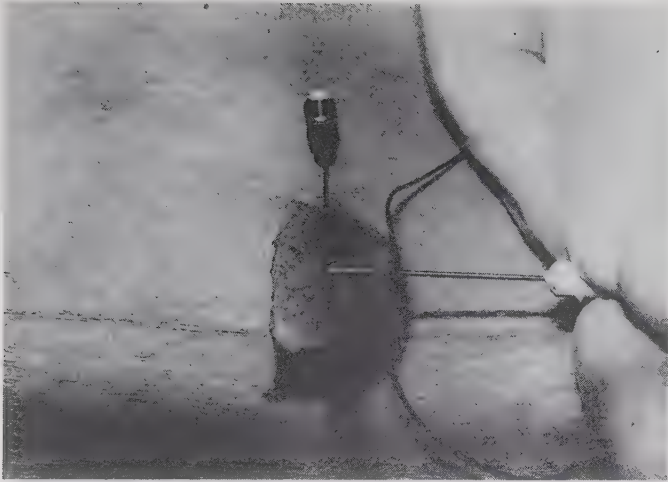
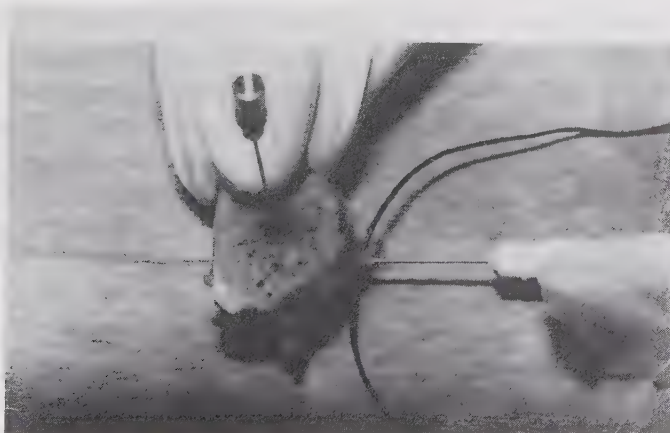


Abb. 4a Festlegung der Splintposition an der oberen Wirbelkörperfläche mittels verschiebbarem Faden



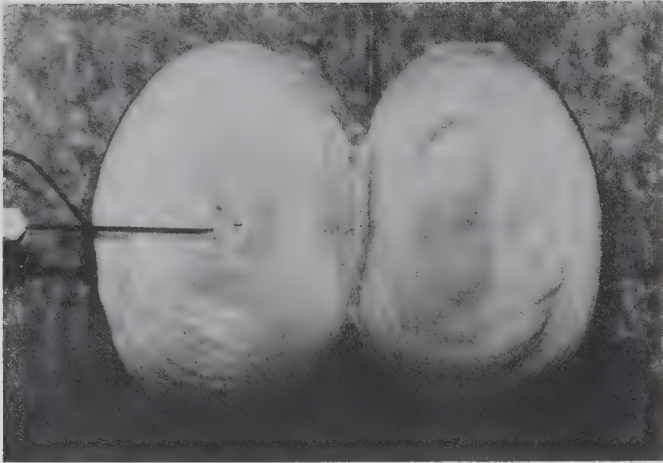


Abb. 4 b und c Ventraler Einstich der Lumbalnadel
in die Bandscheibe und Implantation des
Splints (Das untere Foto zeigt ein horizontal
durchtrenntes lumbales Bandscheibenpräparat)

Der von Krämer (1973) entwickelte Rahmen (s.auch Fotos)
diente zur Druckbelastung der so gewonnenen Präparate.
Zwischen Rahmen und Wirbelkörperoberfläche setzten wir
4 mm starke Messingplatten, die flächenmäßig die Hälfte
des oberen bzw. unteren Wirbelkörperanteils bedeckten.

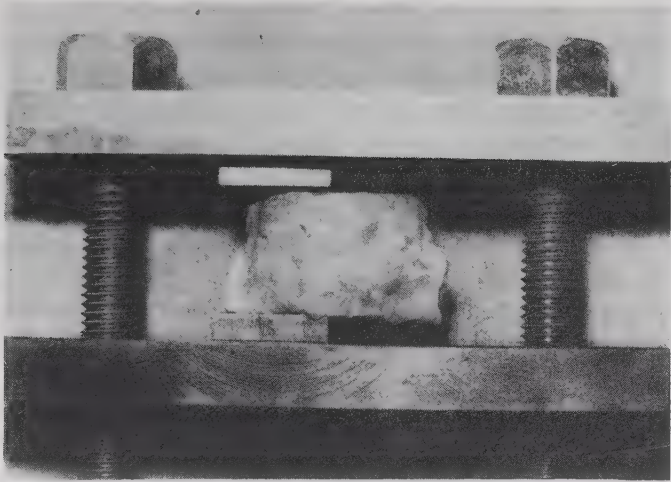


Abb. 5 Fixation eines HWS-Präparates im Belastungsrahmen (Lateralflexion)

Zur Einstellung exakter Belastungen verwandten wir einen Drehmomentschlüssel, der wiederholt mit einer Kraftmesseinrichtung (Krämer 1973) geeicht wurde. Da der Kompressionsdruck rasch nachließ, mußte er regelmäßig nachgestellt werden.

Die Präparate wurden mit Rahmen in Ringer-Lösung gelegt, aus der wir sie nur für die Röntgenaufnahmen herausnahmen.

Die Wirbelkörper-Bandscheiben-Wirbelkörperpräparate mit ihren implantierten Metallsplinten benötigten im Rahmen einen Fixationsdruck von ca. 10 kp. Diesen Ausgangszustand bezeichneten wir als o. B. (ohne Belastung). Die Präparate wurden im Zustand o. B. geröntgt. Wir fertigten nach drei Minuten Belastung mit 50 kp, weiteren

drei Minuten mit Belastungserhöhung auf 100 kp und 60 Minuten mit 100 kp erneut Röntgenaufnahmen an.

Um Projektionsfehler weitestgehend auszuschließen, führten wir alle Röntgenaufnahmen unter konstanten Abstandsbedingungen aus: Film-Focusabstand = 110 cm, Objekt-Filmabstand = 14 cm. Das ergibt eine Vergrößerung von ca. 15 %. Die Zentrierung, d. h. die wiederholbare Ausrichtung des Röntgenstrahles auf gleiche Punkte, wurde durch Zeichen, die an den Belastungsrahmen angebracht waren, erleichtert.

Die Auswertung bestand darin, die Lage des Metallsplints innerhalb der Bandscheibe nach der jeweiligen Zeitmarke und Belastung bzw. Belastungsart (Vor-Rück-Seitneigung) zu bestimmen. Die einzelnen Segmente unterzogen wir immer der gleichen Belastungsart (z. B. C_{6/7}: Dorsalflexion). So konnte eine Wanderung des Splints festgestellt werden (zur Aussagekraft s. Vorversuche).

Nach Versuchsende fertigten wir von allen Präparaten Frontal- bzw. Horizontalschnitte an, um den makroskopischen Befund der Bandscheiben zu dokumentieren.

Zusammenfassend sei noch einmal der Arbeitsgang in seiner zeitlichen Abfolge beschrieben:

- a) Herstellung des Wirbelkörper-Bandscheiben-Wirbelkörperpräparates
- b) Implantation des Metallsplints
- c) Röntgenaufnahme in zwei Ebenen zur Koordinatenbestimmung (bei ungünstiger Lage Nachschieben eines weiteren Splintes und erneute Röntgenaufnahmen)
- d) Fixation im Belastungsrahmen
- e) Röntgenaufnahme vor der eigentlichen Belastung
- f) Röntgenaufnahmen nach Belastung und
- g) Anfertigung von Frontal- bzw. Horizontalschnitten zur makroskopischen Untersuchung der Bandscheiben.

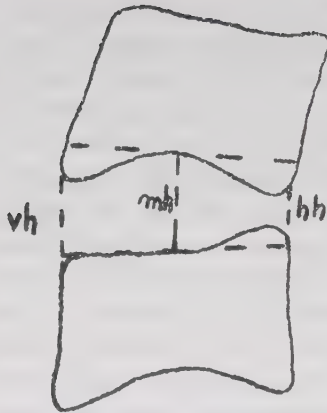
3. Auswertungsmethode

Die Auswertung erfolgte anhand der Röntgenbilder. Es wurde an den HWS-Präparaten die vordere, hintere und die "mittlere" Höhe sowie die Bandscheibentiefe bestimmt (Seitaufnahme). Die von Drexler (1962) eingeführten Begriffe erläutert die Abb. 6. A.p.-Aufnahmen ermöglichten die Bestimmung des Abstandes der Processus uncinati. Nullpunkte für ein dreidimensionales Koordinatensystem gewannen wir durch Halbierung der "mittleren" Höhe und des Processus-uncinati-Abstandes. Jeder Splint bekam somit eine x-, y- und z-Koordinate zugeteilt (Abb. 7). Durch das so konstruierte Koordinatensystem erhielten wir Bezugspunkte für die Auswertung der Splintwanderung. Die jeweilige Lage des Splints ergab sich aus seiner Projektion (Fällung des Lots) auf die Achsen des Koordinatensystems, dessen Einheiten in mm angegeben wurden.

Die Angabe der Vorzeichen der Achsenabschnitte erfolgte so, daß auf der Seitaufnahme "oben" und "vorne" ein positives, "unten" und "hinten" ein negatives Vorzeichen erhielten.

Bei Dorsal- und Ventralflexion wurde der x-Abschnitt lediglich als Abweichung vom Nullpunkt angegeben. Bei Lateralflexion gaben wir der belasteten Seite ein negatives Vorzeichen.

Die Bewegung des Metallsplints unter der Belastung errechnete sich durch Subtraktion der Achsenabschnitte (Seitbelastung: Subtraktion der x-Abschnitte vor und nach Belastung bzw. Vor- und Rückbelastung: Subtraktion der z-Abschnitte vor und nach Belastung).

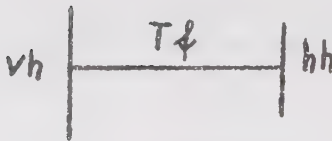


Seitenaufnahme

mh = mittlere Höhe = geradlinige Entfernung der Mitte von benachbarten Wirbelkörperendflächen

vh = vordere Höhe = geradlinige Entfernung der ventralen Kanten benachb. Wirbelkörper

hh = hintere Höhe = geradlinige Entfernung der dorsalen Kanten benachb. Wirbelkörper



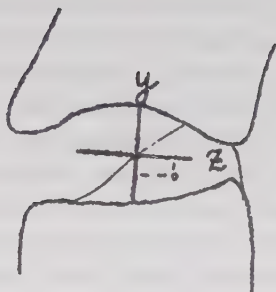
Tf = Bandscheibentiefe

a.p.



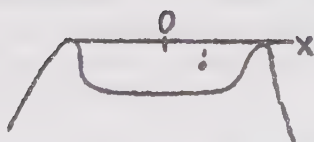
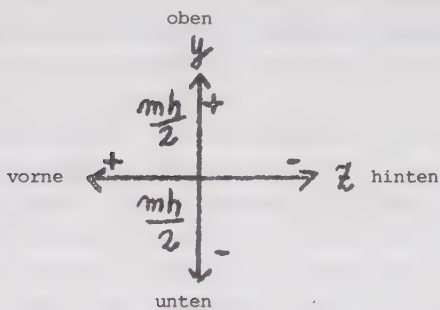
Abstand der proc. uncinati

Abb. 6 Erklärung der bei der Auswertung benutzten Begriffe



Seitenaufnahme

Z-Achse → Lot auf den Halbierungspunkt von y (=mh)



a.p.

Abb. 7 Definition des für die Lagebestimmung notwendigen Koordinatensystems

4. Versuchsergebnisse

a) Lateralflexion

Die größten Exkursionen treten bei der Seitneigung zwischen C_3 und C_5 auf. Aus dem Grund wählten wir die Segmente $C_{3/4}$ und $C_{4/5}$ für diese Belastungsart.

Aus unserer röntgenologischen Beschreibung von $C_{3/4}$ und $C_{4/5}$ geht hervor, wie ebenfalls schon bekannt, daß diese Segmente erst sehr viel später altern als die beiden unteren Zwischenwirbelabschnitte. Man kann also noch in relativ hohem Alter funktions-tüchtige Bandscheiben vorfinden. Dies wird durch unsere Versuche bestätigt.

Tabelle 3 und Tabelle 4 (S. 79/80) geben zusammenfassend unsere Ergebnisse wieder, wobei $C_{3/4}$ und $C_{4/5}$ aus den oben genannten Gründen durchaus gleichwertig behandelt werden können (gleiche Biomechanik und Anatomie).

Wie schon in der "Versuchsmethodik" erwähnt, tritt bei der Implantation des Metallsplints hinsichtlich der Lokalisation eine gewisse Streuung auf. Die Lage des Splints ist bezüglich seiner Koordinaten (x/y/z) im Bandscheibenraum nicht oder nur in den seltensten Fällen wiederholbar. Eine Koordinatenbestimmung erfolgt deshalb, weil sich schon in den ersten Versuchen herausstellte, daß die Nadelwanderung lageabhängig ist.

Die in Tabelle 3 und 4 angegebenen Wanderungswerte sind absolute Zahlenangaben, die nicht die individuelle Gegebenheit der einzelnen Segmente berücksichtigen. Bei der Wanderung des Splints muß aber die Bandscheiben-größe in Betracht gezogen werden (s. Tabelle 2, S. 78). Der halbe Abstand der Proc. uncinati eignet sich dafür am besten, denn die Nadel bewegt sich unter der Belastung vom Nullpunkt (im Idealfall) der x-Achse (= Abstand der Proc. uncinati) nur zu einer Seite. Diesen halben Abstand setzen wir gleich 100 %. Die jeweilige Wanderung der

Nadel wird nun anteilig berechnet (Prozentangabe der Wanderung bezogen auf den halben Abstand).

Die absoluten Angaben zur Wanderung, die aufgrund von Subtraktion der x-Abschnitte vor und nach Belastung gewonnen wurden, sind in einigen Fällen nicht ganz richtig. Eine Aufwärtsbewegung der Metallnadel auf den Proc. uncinatus wie bei unseren Paradebeispielen (s. später) wird zahlenmäßig zu gering ausgedrückt; die Methode der Fällung der Lote ($\leftrightarrow$ x-Abschnitte) verkürzt die reale Wanderungsstrecke.

Die Ziffern 1, 2 und 3 bezeichnen die Belastungsgröße in der Zeit (1: nach drei Minuten Belastung mit 50 kp; 2: nach Erhöhung auf 100 kp und weiteren drei Minuten; 3: nach 60 Minuten mit 100 kp).

Betrachten wir zunächst die jüngeren Bandscheibenpräparate und ihre Mobilität (unter 50 J.). Wir müssen differenzieren zwischen a' einer Wanderung der Metallnadel auf den Proc. uncinatus, b' einer größeren Wanderung in Richtung auf den Proc. uncinatus bzw. bis zu seiner Basis (Knorpelplattennähe) und c' einer Bewegung geringen Ausmaßes.

Unter die Kategorie a' fallen bei $C_{4/5}$ die Präparate mit dem Alter 45 J., 32 J. und 23 J. bzw. bei $C_{3/4}$ 23 J. Auffallend ist die Übereinstimmung der Koordinaten. Alle Nadeln liegen auf der Seitenaufnahme hinter der "mittleren Höhe" (z-Werte von -1 bis -2) in der Mitte der Bandscheibe (y-Werte von 0 - -1).

Wie der Horizontalschnitt einer Hals-Bandscheibe zeigt, befindet sich das Zentrum des Nucleus pulposus hinter der "mittleren Höhe".

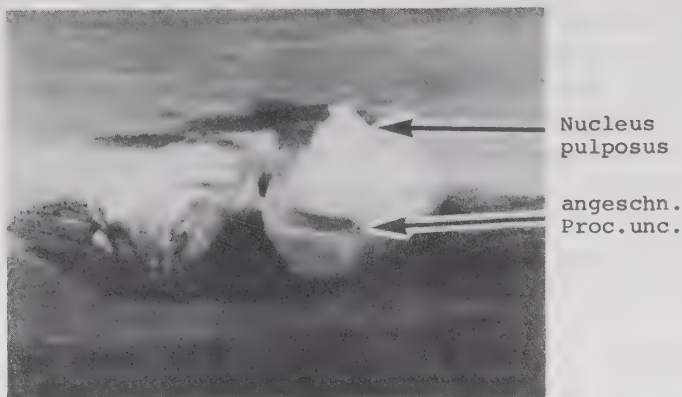


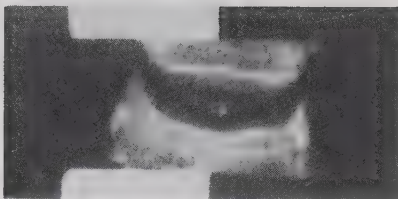
Abb. 8 Horizontalschnitt einer cervikalen Bandscheibe unter dem Einfluß einer hypotonen Lösung (Beachte den mehr dorsalen Sitz des hochgewölbten Nucleus pulposus)

Um dieses Zentrum herum kommen die größten Schubkräfte zustande. Bei vorhandenen oder unter der Belastung auftretenden horizontalen bzw. uncovertebralen Spalten führt das zu einem intradiscalen Vorfall unter die uncovertebralen Bandverbindungen.

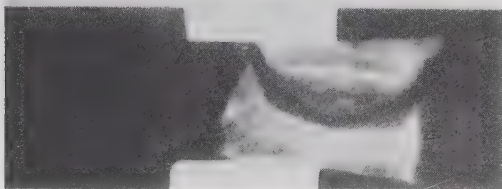
Die Röntgenaufnahmen von C_{4/5} (45 J. und 23 J.) beschreiben dieses Verhalten (s. Abb. 9 a und 10 a).

Abb. 9 a

Röntgenaufnahmen
bei Lateralflexion
von C_{4/5} (45 J.)



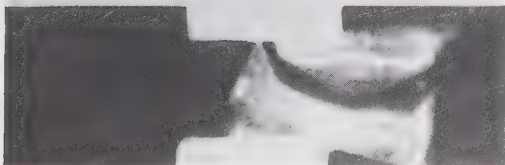
o. B. = ohne Belastung



1 = nach 3 min. mit 50 kp



2 = nach Erhöhung auf
100 kp und weiteren 3 min



3 = nach 60 min. mit 100 kp

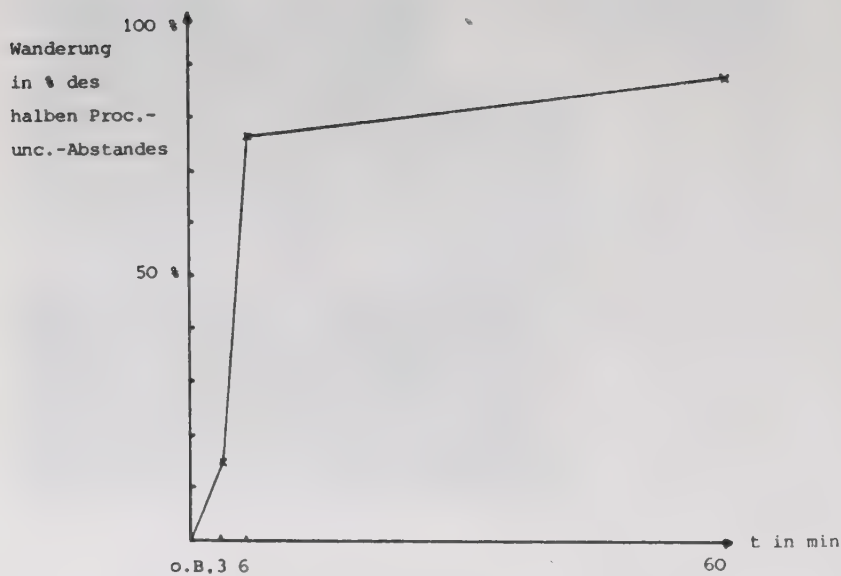
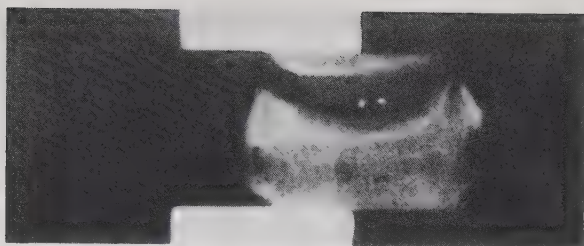
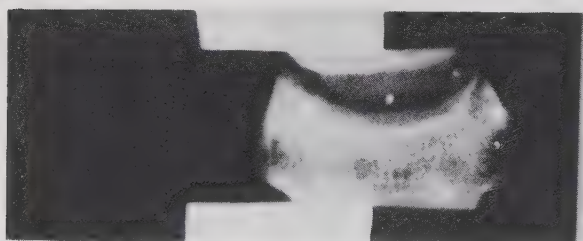


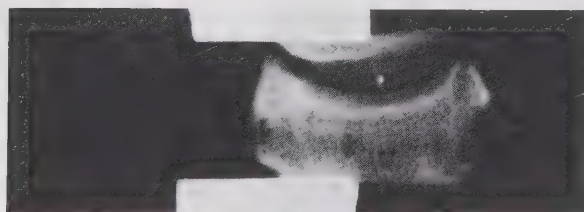
Abb. 9 b Wanderung des Metallsplints von $C_{4/5}$ (45 J.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken



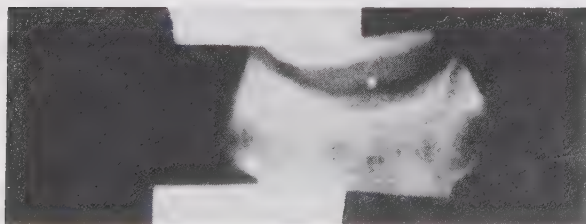
o. B. = ohne Belastung



1 = nach 3 min mit 50 kp



2 = nach Erhöhung auf 100 kp
und weiteren 3 min



3 = nach 60 min mit 100 kp

Abb. 10 a Röntgenaufnahmen bei Lateralflexion von C^{4/5}
(23 J.) [Intradiscaler Vorfall des hinter
der mittl. Höhe gelegenen Bandscheibengewebes]

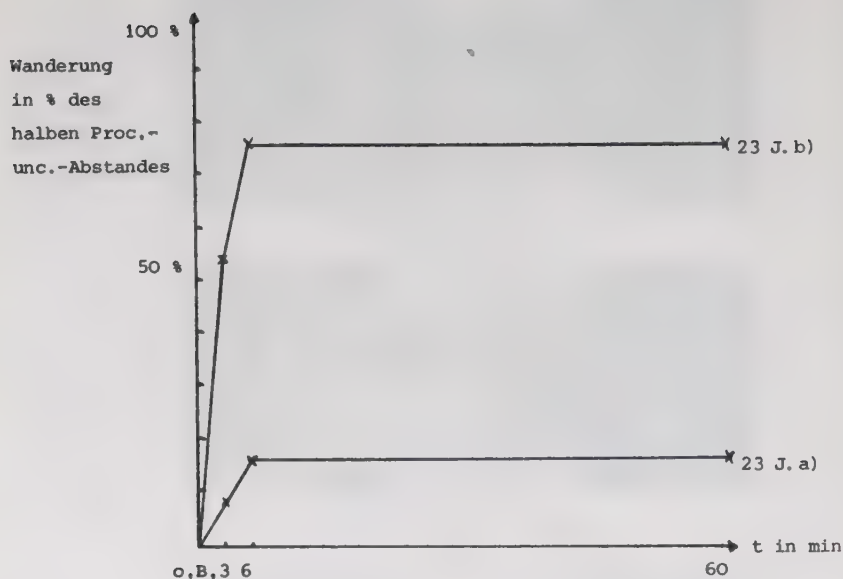


Abb. 10 b Wanderung der Metallsplinte von C_{4/5} (23 J.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken
 23 J b) : Splintposition 2 mm hinter der mittl. Höhe
 23 J a) : Splintposition 3 mm vor der mittl. Höhe

Ein ähnliches Kurvenverhalten zeigt Abb. 9 b: Es erfolgt nach 6 min kein wesentlicher Zuwachs an Wanderung,

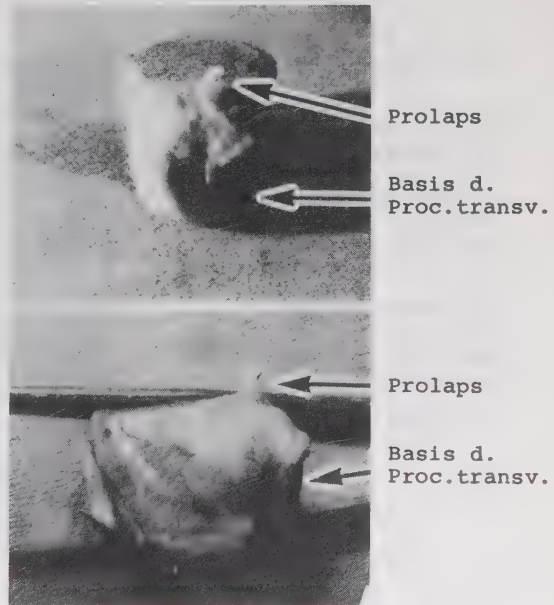
Nach Versuchsende entfernten wir mit einer feinen Pinzette uncovertebrale Faserzüge, sofort quoll Nucleus-pulposus-Gewebe als gallertige Masse mit dem in ihm enthaltenen kleinen Metallsplint hervor. Zur fototechnischen Darstellung wurde dieser Vorfall etwas angehoben.

Abb. 11

Unter der Lateral-flexion aufgetretener Prolaps von Nucleus-pulposus-Gewebe ($C_{4/5}$, 23J.) nach Entfernung uncovertebraler Faserzüge.

Oben: Lateralansicht
Unten: Ventrolateralansicht

(Beachte den im vorgefallenen Gewebe implantierten Metallsplint)



Ein ähnliches Verhalten zeigten auch alle anderen unter a' angeführten Präparate mit der einzigen Ausnahme von $C_{3/4}$ (23 J.). Dort erschien nach dem Abheben der Bänder zunächst ein Teil gallertigen Gewebes, dann erst der freiliegende Metallsplint, der von nachdrückenden Nucleusanteilen herausgeschoben wurde (s. auch "Vorversuche" mit der entsprechend beschriebenen Möglichkeit).

Im Anschluß an die oben genannte Manipulation fertigten wir von den Präparaten Frontalschnitte an. Es erwies sich z. B. bei dem Präparat C_{4/5} (23 J.), daß eine durchgehende Spalte nur hinter der "mittleren Höhe" vorhanden war, und zwar in der Nähe zum hinteren Bandscheibendrittel. Man kann im folgenden Foto den Bandscheibenvorfall deutlich an dieser Stelle erkennen.

Abb. 12

Frontalschnitte des Präparates C_{4/5} (23 J.), wobei oben die vorderen und unten die hinteren Anteile der Bandscheibe getroffen sind

(Am Übergang zum hinteren Bandscheibendrittel wird der laterale Vorfall des Gallertkerns sichtbar)



Prolaps

Proc. unc.

Zur Kategorie b' gehören die Präparate C_{3/4} (42 J. und 32 J.). In beiden Präparaten lag der Splint 1 mm vor der "mittleren Höhe" (z-Wert), die y-Werte variieren zwischen -1 und -2.

Die Metallnadeln wanderten hier zur Basis der Proc. uncinati und befanden sich nach Belastung in Knorpelplattennähe. Vermutlich wird dieses Verhalten durch laterale Spalten begünstigt.

Die Kategorie c' mit ihrer geringen Wanderung stellt sich nicht als homogene Gruppe dar. Einige Präparate mit ähnlichen Koordinaten der Nadel wie bei a' und b' besaßen nach Versuchsende keine Horizontalspalten [z. B. C_{4/5} (31 J. und 18 J. Str.)], so daß keine Möglichkeit zu einer intradiscalen Massenverschiebung gegeben war.

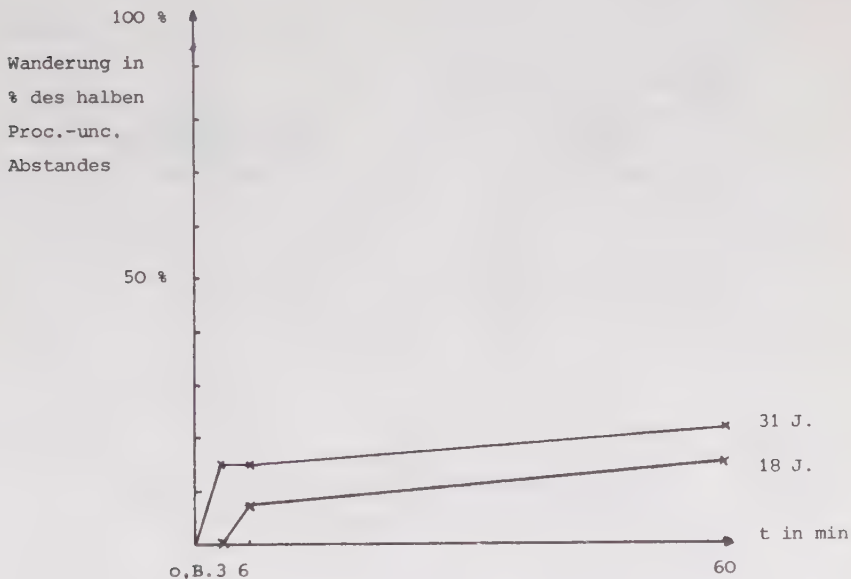


Abb. 13 Wanderung der Splinte von C_{4/5} (31 J. und 18 J. Str.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

Eine Lage des Metallsplints zu weit hinten und unten [C_{4/5} (18 J. Dr. und 35 J.) und C_{3/4} (45 J.)] war ebenfalls ungünstig.

Die Position der Nadel um ca. 2 - 3 mm vor der "mittleren Höhe", also am vorderen Rand des Gallertkerns, erbrachte geringe Wanderungswerte.

Auch unter Einbeziehung aller Fehlerquellen (z. B. Projektionsfehler) ist folgende Tendenz zu erkennen: Wanderungen größeren Ausmaßes kommen bei Lage der Nadel um die "mittlere Höhe" in Bandscheibenmitte vor, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß eine horizontale bzw. uncovertebrale Spalte besteht oder unter Belastung auftritt.

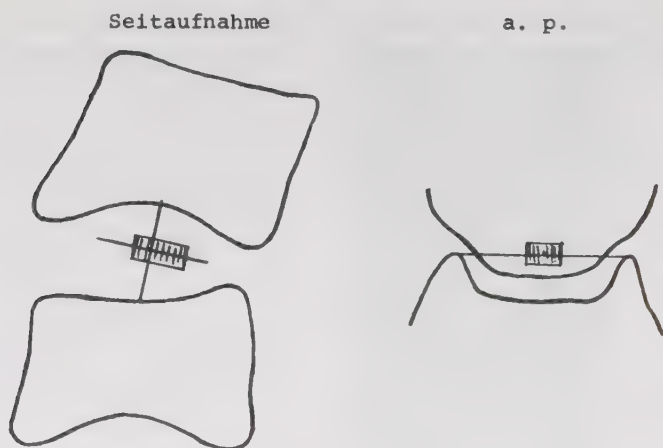


Abb. 14 Lokalisation der größten Mobilität cervicalen Bandscheibengewebes unter Lateralflexion ($C_{3/4}$ und $C_{4/5}$)

Die Präparate $C_{4/5}$ (23 J.) und $C_{3/4}$ (36 J.) unterstreichen nochmals die Bedeutung der Nadelposition, denn an derselben Bandscheibe ergeben sich unterschiedliche Wanderungen der zwei Metallsplinte.

Die Beweglichkeit der Nadeln wird nur geringfügig beeinflusst durch ihre Lage bezüglich der x-Achse, wenn die Abweichungen vom Nullpunkt nicht mehr als 2 mm betragen. Dies konnten wir auch in den Vorversuchen feststellen.

In der höheren Altersgruppe (56 J. - 77 J.)

fällt zunächst einmal auf, daß die Bewegungsausschläge der Wirbelkörper durch die stärker sich ausbildende Spondylosis uncovertebralis abnehmen. Dennoch fanden wir z. B. bei dem Präparat C_{4/5} (77 J.) eine gute Beweglichkeit (Wanderung in Richtung auf den Proc. uncinatus). Positive Röntgenzeichen und makroskopisch sichtbare Randwülste lagen nur angedeutet vor. Das Bandscheibeninnere allerdings wies eine braune Verfärbung auf.

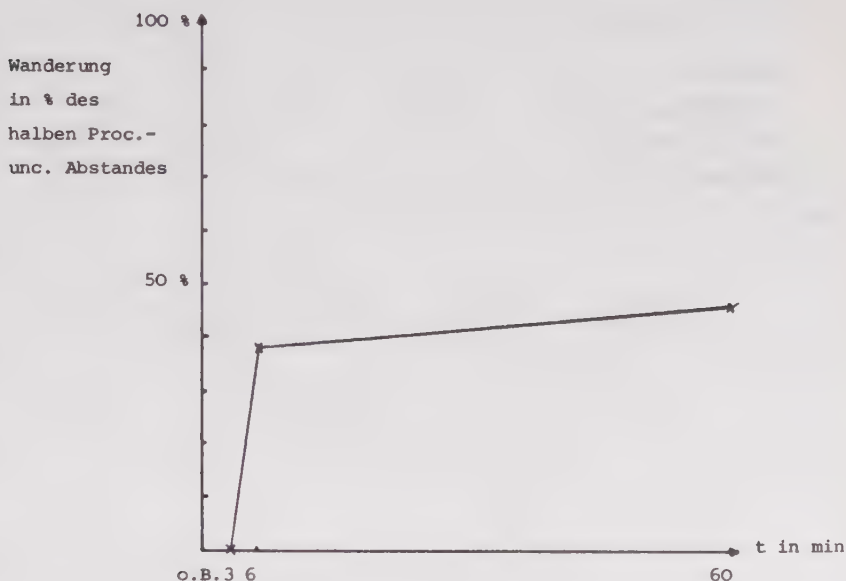


Abb. 15 Wanderung des Splints von C_{4/5} (77 J.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

Die Positionsabhängigkeit der Nadelwanderung scheint in diesen Altersstufen nicht mehr ganz so ausgeprägt zu sein, durch die gewebliche Angleichung der Band-

scheibenanteile und die größeren Spalten bedingt, wenngleich wir z. B. bei $C_{3/4}$ (61 J.) eine solche Abhängigkeit bemerken. In diesem Segment, dessen Knorpelplatte schon geschädigt war, brachte der nach Versuchsende angefertigte Frontalschnitt ein Gewebetzutage, das mehrere Sequester besaß. Das Präparat $C_{4/5}$ (62 J.) hatte demgegenüber bis auf eine Horizontalspalte noch ein relativ gesundes zentrales Bandscheibengewebe. Der Splint lag nach der Belastung an der Basis des Proc. uncinatus in Knorpelplattennähe.

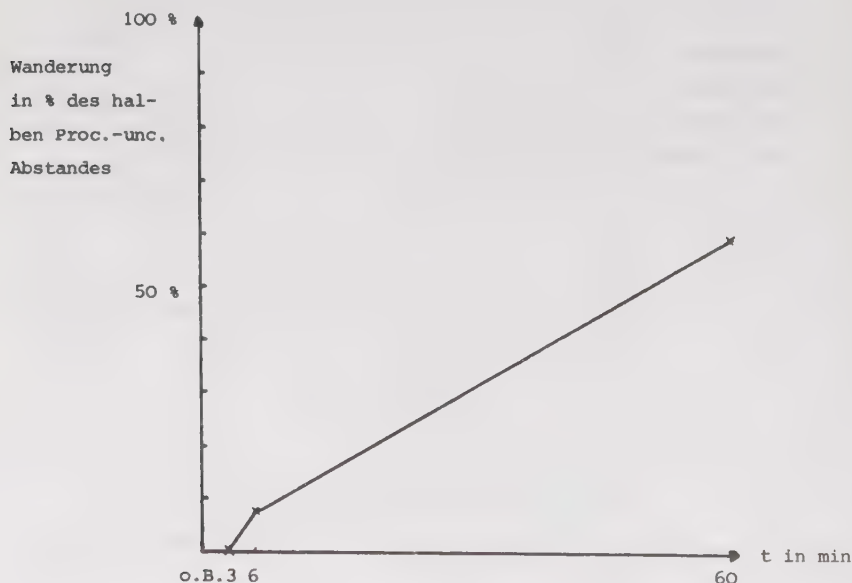


Abb. 16 Wanderung des Splints von $C_{4/5}$ (62 J.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

Eine große Verkalkungszone im Nucleus von $C_{4/5}$ (56 J.) behinderte die Implantation der Metallnadeln. Dementsprechend verhielt sich auch ihre Mobilität.

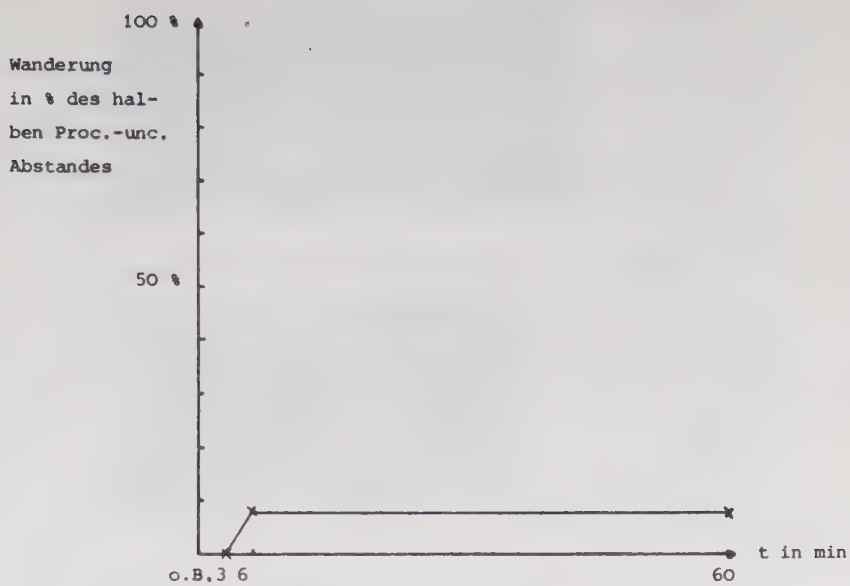


Abb. 17 Wanderung des Splints von $C_{4/5}$ (56 J.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

b) Flexion und Extension

In den beiden unteren cervikalen Bewegungssegmenten werden die größten Exkursionen der Vorwärts- und Rückwärtsbeugung erreicht. Um vergleichbare Werte zu erhalten, beschränkten wir die Flexionsversuche auf die Bandscheibe C_{5/6}, die Extensionsversuche auf die Bandscheibe C_{6/7}.

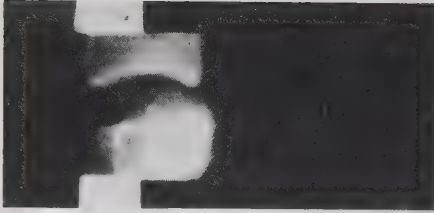
Aus anatomischen Studien (Ecklin; Töndury) weiß man, daß die zwei unteren Halsbandscheiben wegen ihrer ganz anderen Belastung sehr viel früher als höher gelegene Segmente Zermürbungsprozessen unterworfen sind (s. auch röntgenologische Beschreibung der Präparate). Diese verursachen verzweigte Spaltensysteme im Bereich des Nucleus pulposus und seiner Umgebung, sehr viel weniger glatt begrenzte horizontale Spalten in Bandscheibenmitte.

Flexion (s. Tab. 5/6, S. 81 / 82)

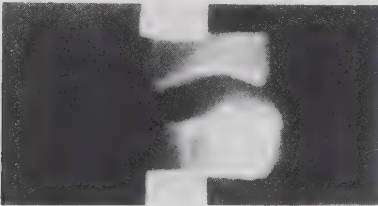
Eine Roll-Kippbewegung der angrenzenden Wirbelkörper gegeneinander vollzogen bei unserer Versuchsanordnung nur einige jüngere Präparate (32 J., 31 J. und 23 J.). Dabei kam es zu einer Verschiebung des kranialen Wirbels über den kaudalen um 2 mm nach ventral.

Die Wanderung der Nadel und damit die Mobilität des Bandscheibengewebes ist, wie auch schon die Ergebnisse zur Lateralflexion gezeigt haben, positionsabhängig. Hinzu tritt natürlich als Variable die Morphologie der Disci.

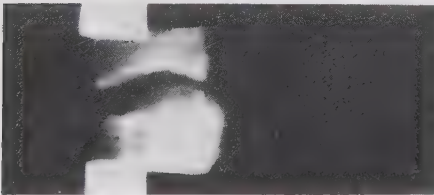
Die Präparate mit dem Alter von 62 J., 45 J., 31 J. und 18 J. (Drogenabusus) besaßen die weitaus größte Mobilität ihrer zentralen Bandscheibenanteile (z-Werte von +1 bis -2). Mit der Ausnahme des ersteren führte die Belastung zu einem intradiscalen Vorfall unter das hintere Längsband. Der Nucleus hatte sich durch den dorsalen Anulus fibrosus hindurchgezwängt.



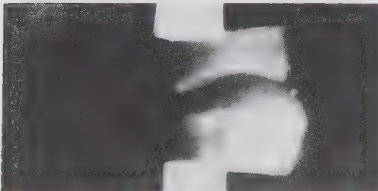
o. B. = ohne Belastung



1 = nach 3 min mit 50 kp



2 = nach Erhöhung auf 100 kp
und weiteren 3 min



3 = nach 60 min mit 100 kp

Abb. 18 a Röntgenaufnahmen bei Flexion von C_{5/6}
(18 J. Dr.)
(Vorfall des zentralen Bandscheibengewebes
unter das hintere Längsband)

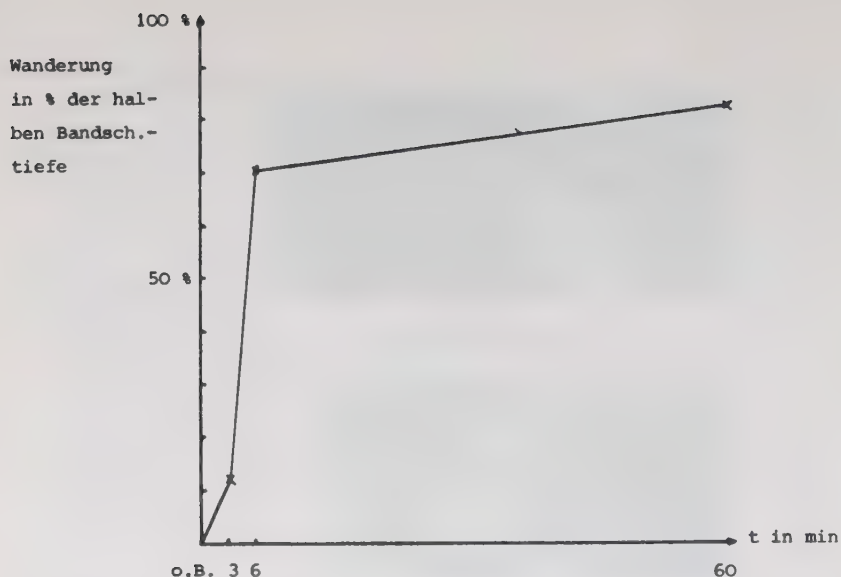


Abb. 18 b Wanderung des Splints von C_{5/6} (18 J. Dr.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

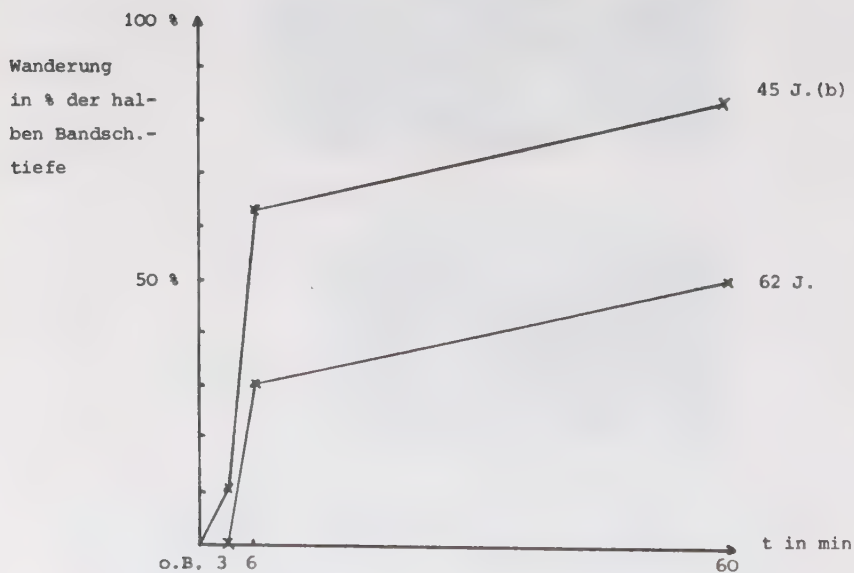


Abb. 19 Wanderung der Splinte von C_{5/6} [45 J. (b) und 62 J.] bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

Das Präparat des 62jährigen wies nach der röntgenologischen Beschreibung nur eine leichte Spondylosis ventralis auf, makroskopisch waren allerdings von außen große Vorwölbungen zu sehen. Das Bandscheibenzentrum erbrachte bis auf ein paar Spalten weißes quellbares Gewebe, dessen Mobilität etwas eingeschränkt schien. Schon Junghanns erwähnt, daß eine ausgeprägte Spondylosis ventralis und funktionstüchtiges Gallertgewebe sich nicht ausschließen, sondern sogar bedingen. Die Wanderung des Splints war jedoch aufgrund des Alters (62 J.) nicht so extrem wie bei den jüngeren Präparaten, der Anulus fibrosus wurde nicht überschritten. Der Vergleich der Präparate mit annähernd gleichen Koordinaten [45 J. (b) und 62 J.] kann an der Wanderungskurve sehr schön verfolgt werden.

Das Präparat (35 J.) hatte vor Versuchsbeginn einen paramedianen Defekt im dorsalen Anulus fibrosus. Eine minimale Belastung mit 50 kp, die ansonsten geringe Wanderungen erzeugen, beförderte Nucleus-pulposus-Gewebe bis zur Discusgrenze. Kurz darauf trat der Prolaps ein.

Zu den Präparaten jüngerer Individuen mit angedeuteter Mobilität (z. B. 18 J. Str., 32 J. und 36 J.) gehörten makroskopisch intakte Faserringe.

Die Disci eines 61- und 56jährigen waren, wie an der Röntgenologie ablesbar, völlig zerstört. In das Zentrum des Präparates (61 J.) konnten wir mit unserer Lumbalnadel nicht vordringen. Die 56jährige Bandscheibe bestand nurmehr aus Schollen nekrotischen Knorpels. Eine Mobilität wurde deshalb auch nicht nachgewiesen.

Tabelle 6 (S. 82) beschreibt das Verhalten der Segmente (ihre Kompressibilität) unter der Flexion. Es fällt die frühere Reaktion der jüngeren Bandscheiben bei Belastung auf (s. Spalte 1 = 50 kp Belastung nach drei Minuten).

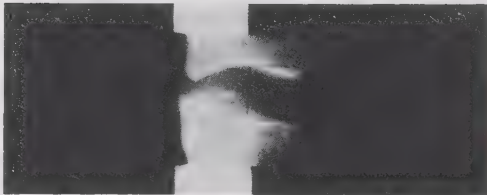
Extension (s, Tab. 7/8, S. 83/84)

Die Extension hatte nur bei zwei jüngeren Präparaten (36 J. und 32 J.) eine Verschiebung des kranialen Wirbels über den kaudalen um 1 mm nach dorsal zur Folge.

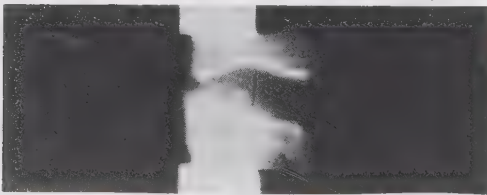
Wir erhielten in der Altersgruppe der 18- bis 35jährigen gegenüber den entsprechenden Segmenten von C_{5/6} (Flexion) eine schlechtere Mobilität. In morphologischen Untersuchungen fanden wir unveränderte ventrale Faserringe und Gallertkerne ohne Spalten.



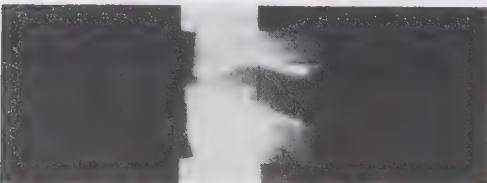
O. B. = ohne Belastung



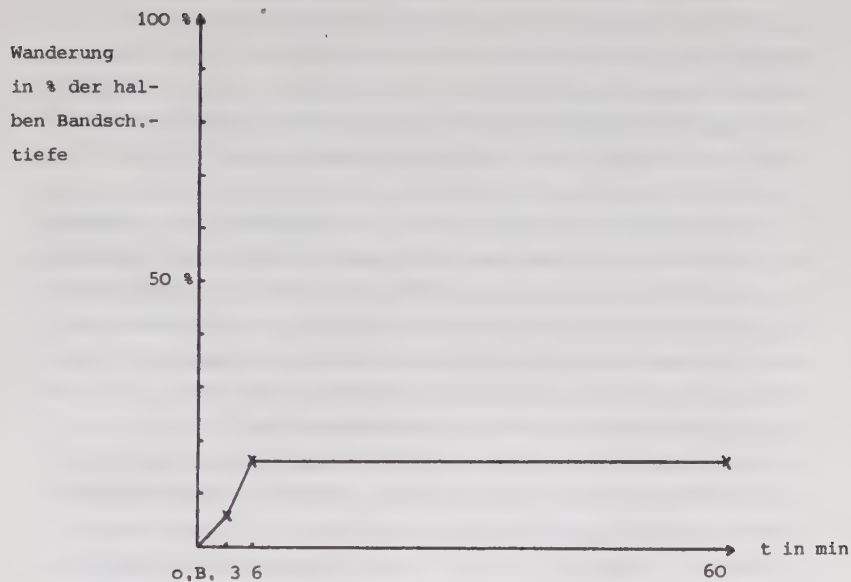
1 = nach 3 min mit 50 kp



2 = nach Erhöhung auf 100 kp
und weiteren 3 min



3 = nach 60 min mit 100 kp



Abb, 20 b Wanderung des Splints von $C_{6/7}$ (18 J, Dr.) bezogen auf die zeitlichen Belastungsmarken

Im vorderen Anulus fibrosus der Präparate (42 J. und 36 J.) sahen wir gerissene Lamellen. Gut quellbares Nucleus-pulposus-Gewebe verursachte eine intradiscale Massenverschiebung. Die floride (42 J.) bzw. die sich ankündigende (36 J.) Spondylosis ventralis läßt sich durch diese Ergebnisse erklären.

Die Bandscheiben eines 45- und 56jährigen besaßen ein vielfältiges Spaltensystem in ihrem Zentrum mit Anschluß an uncovertebrale Spalten. Ein ausreichend mobiler Nucleus lag deshalb nicht vor. Das Präparat (56 J.) des Segmentes C_{6/7} wurde mit zwei Splinten beschickt. Auffallend war die charakteristische Angleichung ihrer Wanderung. Eine der beiden Nadeln saß zentral (z-Wert von -0,5), die andere im vorderen Faserring (z-Wert von +7).

Die Präparate (62 J. und 61 J.) mit starker Osteochondrose und frei flottierenden Sequestern ermöglichten immerhin noch eine Beweglichkeit von 2 - 3 mm.

Durch Extensionshemmung (Verknöcherung eines Uncovertebralabschnittes) kam bei Präparat (77 J.) keine Beweglichkeit zustande.

Tabelle 8 (S. 84) dokumentiert das Verhalten der Bandscheibe C_{6/7} unter Extension. Ins Auge fällt die in einigen Fällen gegebene Diskrepanz zwischen Wanderung der Nadel und der dazu gehörenden Reaktion der Bandscheibe. Gute Kompressibilität des dorsalen Discus (Kantenabstand hinten = hintere Höhe der Bandscheibe) braucht nicht mit einer größeren Verlagerbarkeit zentraler Anteile verbunden sein. Das Präparat eines 18jährigen (Drogenabusus) dient dazu als Beispiel. Hier fängt der intakte ventrale Anulus fibrosus den nach vorne drängenden Gallertkern auf. Präparat (62 J.) stellt das genaue Gegenteil dar. Die Belastung führte zu einer Bewegung von Gewebsschollen, nicht jedoch zu einer Lageveränderung der angrenzenden Wirbelkörper.

III. Untersuchungen über die Anatomie des cervikalen Bewegungssegmentes

1. Bestimmung der vorderen, hinteren und "mittleren" Höhe der Bandscheiben (s. Tab. 9 und 10, S. 85 / 86)

Drexler hat 1962 an Röntgenbildern von Lebenden die oben genannten Bandscheibenhöhen, deren begriffliche Abklärung in Kapitel C., II/3 erfolgt, ausgewertet. Seine Ergebnisse haben wir in den "Speziellen Grundlagen" dargelegt. Eine Überprüfung dieser Angaben, die sich nur auf den jugendlichen Erwachsenen beziehen, anhand unserer Wirbelkörper-Bandscheiben-Präparate (s. C., II/2) erbrachte für die Altersstufe der 18 - 36jährigen eine ähnliche Relation der einzelnen Bandscheibenhöhen zueinander.

Die Durchschnittswerte für $C_{5/6}$ ($C_{6/7}$) betragen bei einem Film-Fokus-Abstand von 110 cm (Vergrößerung von ca. 15 %):

	$C_{5/6}$	$C_{6/7}$
vordere Höhe	6,0 mm	6,8 mm
hintere Höhe	4,3 mm	4,3 mm
"mittlere Höhe"	7,8 mm	8,4 mm

Die durchschnittlichen Höhen der älteren Präparate (42 - 77 J.) verhalten sich demgegenüber etwas anders:

	$C_{5/6}$	$C_{6/7}$
vordere Höhe	5,0 mm	5,2 mm
hintere Höhe	2,5 mm	2,3 mm
"mittlere Höhe"	6,3 mm	6,3 mm

Auffallend ist die stärkere Abnahme der hinteren und "mittleren" Höhe im höheren Lebensalter. Drexler mit seinem weitaus größeren Untersuchungsmaterial stellte dies nur für die hintere Höhe fest.

Die Zahlen für die Segmente $C_{3/4}$ ($C_{4/5}$) ergeben eher eine Angleichung der beiden Altersgruppen.

18 - 36 J.	$C_{3/4}$	$C_{4/5}$
vordere Höhe	5,4 mm	5,8 mm
hintere Höhe	3,8 mm	3,5 mm
"mittlere Höhe"	7,2 mm	8,4 mm

42 - 77 J.	$C_{3/4}$	$C_{4/5}$
vordere Höhe	5,4 mm	6,5 mm
hintere Höhe	3,6 mm	3,7 mm
"mittlere Höhe"	8,0 mm	7,9 mm

2. Zur Anatomie der Processus uncinati

Bei der Herstellung der Wirbelkörper-Bandscheiben-Präparate und den anschließenden Röntgenaufnahmen (s. C., II/2) richteten wir unser Augenmerk auf Form und Größe der Proc. unc.

Die Abb. 21 zweier durchgepauster A.-p.-Röntgenaufnahmen gibt beispielhaft unsere Beobachtungen an 10 Halswirbelsäulen wieder. Das unzerschnittene Wirbelkörper-Bandscheibenpräparat (31 J.) zeigt die steilsten und größten Proc. uncinati bei C_6 , eine Tatsache, die wir sehr oft angetroffen haben. Das Präparat (45 J.), das am Übergang zu seinem hinteren Drittel frontal durchgeschnitten wurde, weist ein ähnliches Verhalten auf. Abstriche müssen hinsichtlich $C_{6/7}$ gemacht werden, wo

45 Jahre

31 Jahre

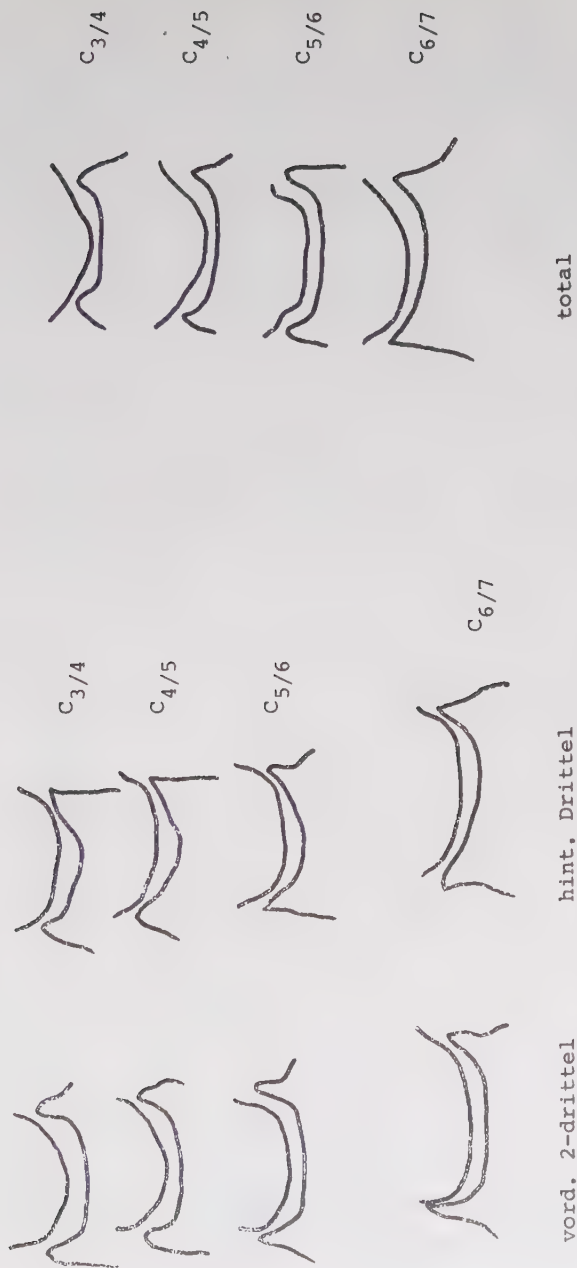


Abb. 21 A.-p.-Röntgenpausen cervikaler Segmente (45 J.: Frontalschnitt trennt vord. 2-drittel vom hint. Drittel)

eine schwere einseitige Spondylosis uncovertebralis vorliegt. C₆ besitzt auch hier einen sehr steilen und hohen Processus uncinatus.

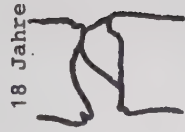
C₃ hat zwar durchweg steilgestellte Processus, die aber bei unseren Präparaten im Mittel nicht so hoch wie die von C₆ waren. Eindeutig war der Abfall an Höhe und Steilstellung bei C₇, wie ebenfalls die Seitenaufnahmen (s. Abb. 22) einiger Präparate bestätigen.

Abb. 22 (Präparat 45 J.) läßt erkennen, daß die Processus uncinati in ihrem hinteren Drittel bis zum Foramen intervertebrale im Durchschnitt niedriger werden. Weiterhin ist an der HWS der hintere Wirbelkorperrand (hintere Randleiste) höher als der vordere. Bei der Überprüfung der Lage des Processus uncinatus zum Wirbelkörper (Abb. 22, Abb. 23 und 24) fiel uns folgendes auf: Er wechselt von kranial nach kaudal von einer mehr lateralen Position (Übergangszone bei C₆) auf den dorsolateralen Anteil des Wirbelkorperrandes über.

45 Jahre 23 Jahre 25 Jahre 32 Jahre 18 Jahre



C_{6/7}



C_{5/6}

C_{4/5}



C_{3/4}

C_{5/6}

Abb. 22 Seitenaufnahmen cervikaler Segmente

Abb. 23

Horizontalschnitte der Segmente $C_{5/6}$ und $C_{6/7}$ auf Höhe der Proc.-uncinatus-Basis (Beachte die dorsolaterale Position der Proc. unc. von C_7)

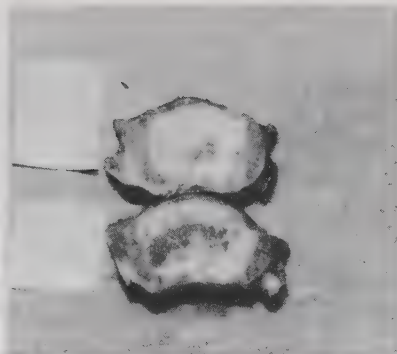


Abb. 24

Seitliche Ansicht der Proc. uncinati von C_6 und C_7 (Der Proc. unc. von C_7 fällt bei diesem Präparat nach dorsomedial steiler ab als der von C_6)



Wie die schematische Zeichnung und das untere Foto (mit Sondenspitze) der Abb. 26 andeuten, ergibt sich bei den uncovertebralen Bandverbindungen eine schwache Stelle zumeist am höchsten Punkt des Proc. uncinatus. Hier nimmt in der Mehrzahl der Fälle ein meniskusartiger, keilförmiger Gewebslappen, der in den uncovertebralen Spalt hineinragt, seinen Ausgangspunkt. Die lappenförmigen Gebilde aus Fett- und Bindegewebe mit Blutgefäßen haben Kontakt zum paravertebralen Gewebe, das an der HWS in der Nähe der uncovertebralen Bänder sehr fettgewebsreich ist.



Abb. 25 Dorsalansicht eines cervicalen Wirbelkörper-Bandscheiben-Abschnittes (Gleichmäßige Breite des hinteren Längsbandes)

3. Anatomie der uncovertebralen Bandverbindungen und des Ligamentum longitudinale posterius

Wir fanden die dorsolateralen Bänder an der HWS überwiegend rudimentär entwickelt. So konnten wir nur an zwei von 21 Halswirbelsäulen, die einer makroskopischen Beobachtung unterzogen wurden, ähnliche dorso-laterale Faserzüge des hinteren Längsbandes wie an der LWS feststellen.

Abb. 25 zeigt die Rückseite zweier HWS-Segmente. Erkennbar ist ein einheitlich dickes Band, das Ligamentum longitudinale posterius.

Ventrolaterale Faserzüge sind demgegenüber relativ stark ausgebildet. Sie befinden sich unter dem Musculus longus colli und ziehen zum überwiegenden Teil mit kurzen Fasern von der Vorderseitenfläche des höheren Wirbelkörpers nach lateral unten. Dort inserieren sie zum Teil an der Außenseite des Processus uncinatus, zum Teil aber auch am Processus transversus und der medialen Wand des Foramen transversarium (Abb. 26). Das untere Foto zeigt den Übergang der Fasern in das Periost (→ durch Sonde angehoben). Nur ein kleiner Teil der ventrolateralen Faserzüge stammt - unseren Untersuchungen zufolge - aus seitlich auf Bandscheibenhöhe abbiegenden Fasern des vorderen Längsbandes.

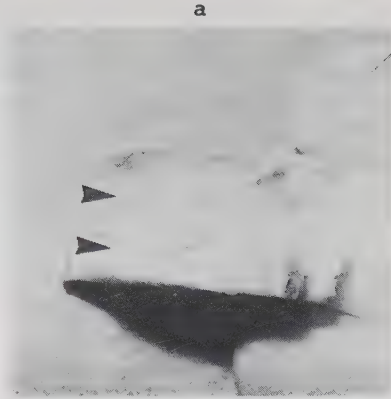
Feinere dorsolaterale Faserzüge, die nicht in Verbindung mit dem hinteren Längsband stehen und mehr lateral liegen, vereinigen sich mit den ventrolateralen oberhalb des Eingangs zum Foramen transversarium (Abb. 27).

Abb. 26

Darstellung der 'uncovertebralen Bandverbindungen an einem WK-Bandscheiben-Präparat

a) Ventralansicht

Sonde unter ventrolateralen Faserzügen. Pfeile markieren die vordere Bandscheibenhöhe



b) Ventrolateralansicht

Ins Periost einstrahlende Faserzüge durch Sonde angehoben



c) Lateralansicht

Sonde unter den seitlich liegenden uncovertebralen Bandverbindungen. Ihre Spitze weist auf die schwache Stelle im Bandsystem hin. An der medialen Wand des Foramen transversarium wird der bogige Periostrand sichtbar



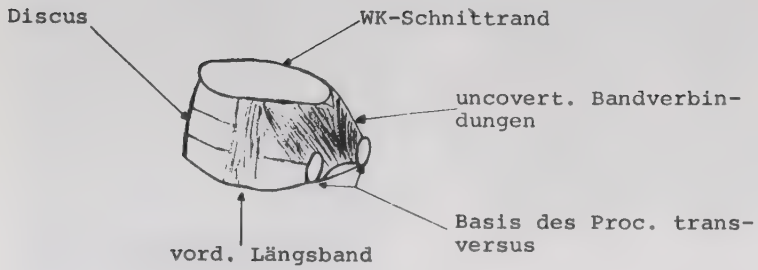


Abb. 27 Skizze zum Verlauf der uncovertebralen Faserzüge (Schrägseitenansicht)

4. Aufhängebänder der Arteria vertebralis und des Ganglion bzw. Nervus spinalis

Wir haben an 10 Halswirbelsäulen, die frei von Randwülsten waren, die topographischen Beziehungen der A. vertebralis zu ihrer Umgebung herausgearbeitet. Zu diesem Zweck wurden Einzelsegmente mittels Durchtrennung von Bandscheiben und Gelenkkapseln hergestellt.

Dabei fanden wir in drei Segmenten unterschiedlicher Wirbelsäulen Fixationen der A. vertebralis an der medialen Wand des Foramen transversarium, die sich breitbasig auf die untere Hälfte des Processus uncinatus fortsetzten (s. Abb. 28).

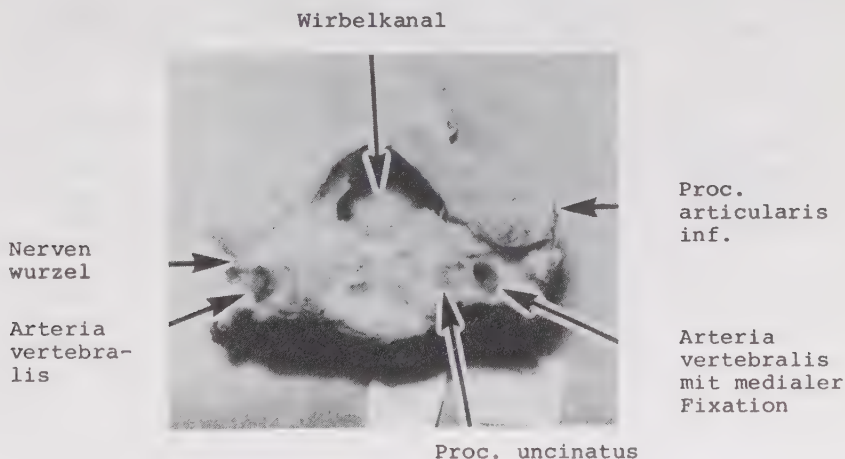


Abb. 28 Inkonstante mediale Fixation der A. vertebralis im Foramen transversarium des 5. Halssegmentes. Präparat eines 23jährigen. (Auf der linken Seite wurde die Nervenwurzel entfernt.)

In allen anderen Segmenten war die Arteria vertebralis in lockeres Gewebe eingebettet. Adhäsionen zwischen Arterie und dorsolateral liegender Nervenwurzel bestanden nicht. Durch das Einführen einer Sonde ins Lumen des Gefäßes konnte eine gute Beweglichkeit innerhalb der Foramina transversaria nachgewiesen werden.

Desgleichen interessierte uns die Beziehung des Ganglion bzw. Nervus spinalis zu den Gelenkkapseln der kleinen Wirbelgelenke. Die Abb. 29 zeigt relativ mächtige Spannfasern, die Gelenkkapsel und Ganglion spinale bzw. Nervenstamm miteinander verbinden.

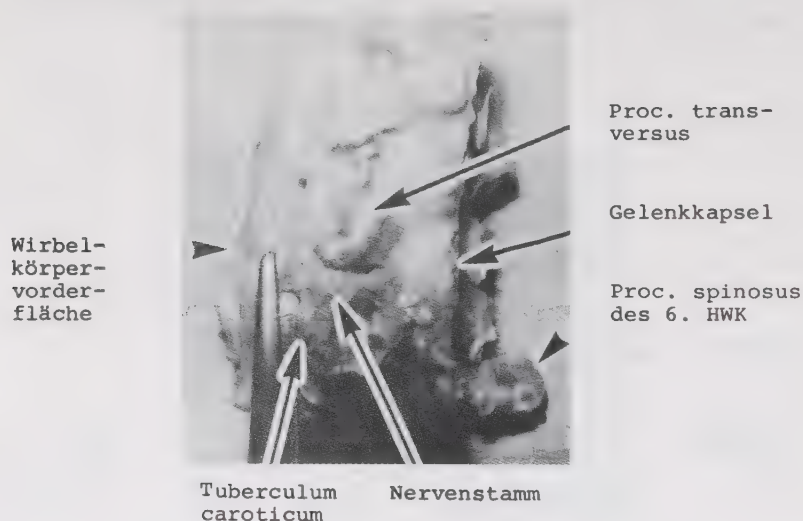


Abb. 29 Seitansicht der Halswirbelsäule einer 23jährigen (Erkennbar sind mächtige Spannfasern zwischen Gelenkkapsel und Ganglion spinale bzw. Nervenstamm)

IV. Untersuchung zur Form des Ligamentum longitudinale posterius an der LWS

Wir präparierten an zehn Lendenwirbelsäulen nach Abtrennung der Wirbelbögen die Vorderwand des Wirbelkanals.

Das hintere Längsband, das vornehmlich die Wirbelkörper überspringt und an den Bandscheiben inseriert, besitzt zwei Faserschichten. Oberflächliche längere Faserbündel überbrücken mehrere Bewegungssegmente (medianer Anteil), während eine zweite tiefere Schicht (lateral Anteil) innig mit der Bandscheibe verbunden ist. Die schräg nach kaudal verlaufenden Anteile des hinteren Längsbandes inserieren an der jeweils unteren Wirbelbogenwurzel und gehen kontinuierlich in deren Periost über. Die Auffächerung des Ligamentum long. post. betrifft die Bandscheibe auch nicht gleichmäßig, sondern konzentriert sich vornehmlich auf deren unteren Abschnitt. Der obere paramediane und laterale Anteil des Discus bleibt unbedeckt. Variationen betreffen den Grad der Einstrahlung des Bandes in die Bandscheibe. Bei unseren Präparationen konnten wir nur in zwei Fällen an den unteren beiden Lumbalsegmenten eine Abhebbarkeit des lateralen unteren Bandanteils feststellen (s. Abb. 30).

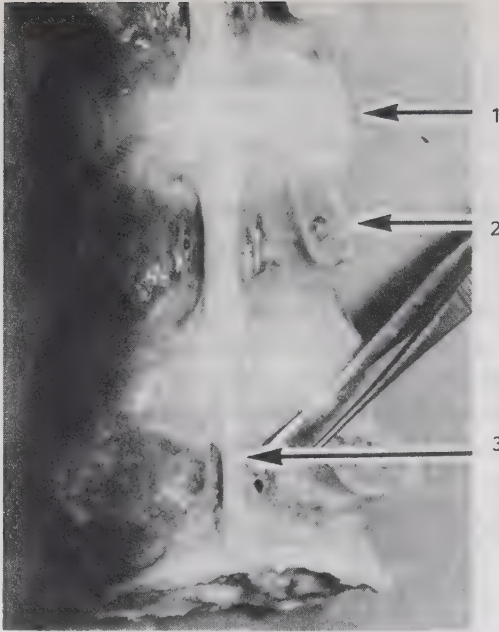


Abb. 30 Dorsalansicht einer lumbalen Wirbelkörper-Bandscheibenreihe (nach Entfernung der Bögen). Die Pinzette markiert den in diesem Fall abhebbaren Anteil des Lig. long. post.
(1: Discus intervertebralis,
2: Wirbelbogenwurzel L₄,
3: Ligamentum long. post.)

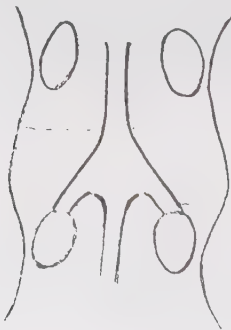


Abb. 31 Schematische Darstellung der Form des Ligamentum longitudinale posterius an der LWS (nach Abb. 30).

D. Diskussion

Die gegebene In-vivo-in-vitro-Differenz wird durch die Bradytrophie des Bandscheibengewebes und unsere Versuchsanordnung (siehe C. II., Vorbemerkung) ziemlich klein gehalten. Wir glauben somit, anhand der Experimente brauchbare Ergebnisse gewonnen zu haben, wobei selbstverständlich die relativ geringe Anzahl der untersuchten Präparate keine statistische Genauigkeit zuläßt. Es werden lediglich Tendenzen aufgezeigt.

Schenks (1964) theoretische Erörterungen zum Verhalten zentralen Bandscheibengewebes erweisen sich als nicht haltbar. Seiner Meinung nach bewegt sich der Nucleus pulposus unter der Bewegung zur belasteten Seite. Unsere Experimente erbringen den gegenteiligen Beweis und unterstützen damit schon früher durchgeführte Untersuchungen von Vosschulte/Börger (1950).

Wichtig sind m. E. die aufgezeigten Tendenzen der mittleren Halswirbelabschnitte aufgrund der geschilderten Anatomie, eine intradiscale Massenverschiebung nach lateral zuzulassen. Zukschwerdt/Emminger (1955) äußerten die Vermutung, daß außer zwischen C_1 und C_2 auch tiefer gelegene Zwischenwirbelabschnitte einen sog. "Rheumatischen Schiefhals" bei Jugendlichen durch Einklemmung von Menisci erzeugen können. Der intradiscale Prolaps beeinflusst m. E. sekundär die dorsolateral von der Bandscheibe angeordneten Wirbelgelenke im Sinne einer Gelenkblockierung oder "Subluxation". Eine schmerzhaftige Bewegungssperre tritt ein, denn gerade die Gelenkkapseln werden reichlich mit sensiblen Fasern versorgt.

Auch die Foramina transversaria geraten dabei in Mitleidenschaft. Kaiser (1974) betont, daß die neurovaskulär bedingten Hörstörungen vorwiegend durch Veränderungen der mittleren HWS ausgelöst werden.

Der Vorfall unter die uncovertebralen Bandverbindungen erzeugt außerdem eine Vorwölbung derselben mit der Folge einer Periostreizung. Chronische Zerrungen des Bandapparates verursachen damit die bekannten lateralen und dorsolateralen Exostosen (Spondylosis uncovertebralis). Junghanns (1968)

gibt eine ähnliche Deutung für die Spondylosis ventralis.

Bedeutsam scheint mir auch zu sein, daß gerade an der HWS durchaus Segmente älterer Menschen zu größeren Gewebsverlagerungen befähigt sind. Die Klinik der HWS-Syndrome mit ihrem Altersmaximum, das 10 Jahre über dem der LWS-Syndrome liegt, wird dadurch näher beleuchtet. Interessant ist in dem Zusammenhang die Beschreibung einer durchgehenden Verknöcherung des hinteren cervikalen Längsbandes, in das ein prolabierter Discus fast vollständig auf Höhe von C_{6/7} eingebrochen war (Palacios 1971). Die Fraktur des knöchernen Bandes resultierte in der Verlagerung eines Knochensplitters in den Wirbelkanal (53 Jahre alte Patientin).

Die cervikalen Bandscheiben beim Lebenden sind einer intradiscalen Instillation von ventral leicht zugänglich. Dies eröffnet die Möglichkeit einer Beeinflussung der Diskusmobilität, die in größeren Serien an jüngeren Bandscheiben vermittels unserer Versuchsmethodik in vitro getestet werden könnte.

Mechanische Faktoren nehmen zwar bezüglich der HWS-Syndrome eine wichtige Rolle ein, man sollte jedoch (Hasue/Ito/Suzuki 1972) die zirkulatorische (Plexus venosus internus) und metabolische Dynamik des Epiduralraumes nicht unterschätzen. Auch psychosomatische Symptombildungen müssen in die Diskussion einiger HWS-Syndrome mit einbezogen werden. Charakteristischerweise stimmen Biomechanik und Anatomie der oberen und mittleren Halsbandscheiben, die schon sehr früh uncovertebrale und durchgehende horizontale Spalten aufweisen, überein. Es liegt die Vermutung nahe, daß die Morphologie der Disci und die Bewegungsausschläge sich gegenseitig bedingen. Ob die Lateralflexion die bekannten Spalten erzeugt oder ob die uncovertebralen Spalten gerade jene Bewegung begünstigen, wage ich nicht zu entscheiden.

Ecklin (1960) vermutet in seiner ausgezeichneten pathologisch-anatomischen Arbeit über die Halswirbelsäule, daß die Processus uncinati mit dem Auftreten von uncovertebralen Spalten in einem Zusammenhang stehen könnten. Das ist sicherlich richtig, nur erweist sich eines seiner Argumente diesbezüglich als nicht ganz stichfest. So behauptet er, die seitlichen Spalten seien dort am deutlichsten, wo auch die Processus uncinati am steilsten seien, nämlich oben bei C₃. In den unteren Segmenten fänden sich bei kleineren Spaltbildungen unscheinbare Proc. uncinati. Nach meinen Beobachtungen sind allerdings die Proc. uncinati von C₆ nicht minder steil, wenn nicht gar steiler und mächtiger angelegt. Diese Beobachtung unterstreicht weiterhin die Tatsache, daß die knöchernen Strukturen des 6. Halswirbels ein topographisches Zentrum bilden (→ Muskelursprung und -ansatz der tiefen Halsmuskulatur, Eintritt der Arteria vertebralis).

Vielleicht besteht der gemeinsame Nenner für eine Erklärung der uncovertebralen Spalten in der lateralen Position der oberen Processus uncinati. Die unter Belastung auftretenden Spannungslinien bzw. Spannungsspitzen müssen bei dorsolateraler Lage einen anderen Charakter bekommen. Hierzu wären Modellversuche, ähnlich denen Schlüters (1964), erforderlich.

Die Proc. uncinati des 7. HWK besitzen, wie schon ausgeführt, bei geringer Höhe und Steilheit eine dorsolaterale Position. Verbunden mit ihrer Flachstellung im hinteren Drittel erläutert uns dieses Faktum die höchste Rate an Bandscheibenprolapsen bei C_{6/7}. Die Beziehung des Bandscheibengewebes zum Foramen intervertebrale und damit zu nervösen Strukturen wird einfach größer.

Die uncovertebralen Bandverbindungen sind erstmals vollständig von Luschka (1858, s. auch Darstellung bei Ecklin 1960) beschrieben worden, der von ventral nach dorsal eine gelenkkapselartige Verdickung feststellt. In den üblichen anatomischen Lehrbüchern werden nur die ventrolateralen Anteile isoliert beschrieben. Rauber/

Kopsch (1968): "An der Seite der Wirbelkörper treten einige entsprechende Faserzüge in Form dünner und zerstreuter Bündel je von einem zum benachbarten Knochen." Stofft (1966) führt aus, daß tiefe transversale Anteile des vorderen Längsbandes vor allem an der LWS in Richtung der Proc. costarii ziehen. An der HWS sollen diese Faserzüge in Richtung auf die Processus transversi nur angedeutet existieren. Seiner Meinung nach handelt es sich also bei den ventrolateralen Fasern nur um gering ausgebildete Abspaltungen des vorderen Längsbandes. Eine Beschreibung der lateralen und dorsolateralen Anteile der uncovertebralen Bandverbindungen erfolgt nicht. Meine Untersuchung hatte eine vollständige Beschreibung der uncovertebralen Bandverbindungen zum Ziel. Die über die Darstellung von Luschka hinausgehenden Besonderheiten (z. B. schwache Stelle im Bandsystem) sind im Kapitel C. III/3 dargelegt.

Mediale Fixationen der Arteria vertebralis im Foramen transversarium sind m. W. noch nicht beschrieben worden. Kunerts (1970) Untersuchungen z. B. ergaben folgendes: "Der Raum zwischen Adventitia und Knochen wird von lockerem Fettgewebe ausgefüllt, in der Hauptsache aber von lockerem kollagenem Bindegewebe, das sich von dem straffen Bindegewebe der Wandauskleidung des Foramen scharf abhebt."

Die Fixierung des Ganglion spinale bzw. der Nervenwurzel an der Gelenkkapsel ist ebenfalls von Kunert (1975) geschildert worden. Ein intradiscaler Prolaps, der sekundär auf die Gelenke einwirkt, kann bei einer stärkeren Bewegung einen Zug an der Dura mit den bekannten Folgen auslösen.

Die Form des hinteren lumbalen Längsbandes ist für die Pathogenese der Bandscheibenerkrankungen von großer Bedeutung. Um so unverständlicher erscheint es, daß eine Beschreibung dieses Bandes in bekannten anatomischen Lehrbüchern nur seine Auffächerung auf Bandscheibenhöhe anführt (Benninghoff/Goerttler 1957, Rauber/Kopsch 1968). Zusätzliche Informationen kann man lediglich durch Abbildungen gewinnen. Abbildungen von Spalteholz/Spanner

(1966) und Sobotta/Becher (1972) lassen die Konzentration des Bandes auf die untere Hälfte der Bandscheiben erkennen. Laterale Faserzüge in Richtung auf die Bogenwurzeln finden sich angedeutet. Testuts (1893) schematische Zeichnung unterstützt unsere Beschreibung der Bandform (s. Abb. 30 und 31). Auf einem Foto von Parke/Schiff (1971) wird die Insertion der lateralen, schräg nach kaudal verlaufenden Fasern an den Wirbelbogenwurzeln deutlich. Die Letztgenannten fügen dennoch ihrem Foto eine Skizze bei, in der das Band eine zentrale Rhombusform besitzt. Eine solche Darstellung wird nur dem hinteren Längsband an der BWS gerecht.

Wichtig scheint mir die beschriebene Form des Bandes für den Ablauf von Bandscheibenprotrusionen bzw. -prolapsen zu sein. Schwache Punkte an der Diskusrückwand, die Bandscheibenvorfälle erleichtern können, liegen vor allem oben paramedian und lateral.

Bei Protrusionen werden die lateralen Bandschichten angespannt, in denen sich der Nervus recurrens besonders ausbreitet, und reizen damit das Periost an ihrem Bogenwurzelansatz. (→ Zusätzlicher Faktor für die Schmerzentstehung ?)

E. Zusammenfassung

Es wurden Untersuchungen an 55 Einzelpräparaten zur Mobilität der unteren vier Halsbandscheiben (vor allem zentraler Anteile) angestellt. Dies geschah mittels Implantation von Metallsplinten und anschließender Belastung.

Die experimentell belegten Aussagen von Vosschulte/Börger (1950) zur Bewegungsrichtung des Nucleus und äußerer Anulus-fibrosus-Abschnitte an der LWS konnten bestätigt werden: Die Lordosierung der HWS führt zu einer Verschiebung des Nucleus nach ventral, die Kyphosierung zu einer Verschiebung nach dorsal und die Seitneigung zu einer Verlagerung des Nucleus zur Gegenseite; äußere Faserringanteile werden bei jüngeren Bandscheiben durch die Lordose in den Wirbelkanal vorgebuchtet. Unser Hauptinteresse galt allerdings dem Ausmaß der Nucleusbewegung.

Untersuchungen an Wirbelkörper-Bandscheiben-Wirbelkörperpräparaten aller Altersstufen erbrachten eine Abhängigkeit der Diskusmobilität von Lage und Morphologie seiner Gewebsanteile.

Zentralem Bandscheibengewebe (Mitte des Nucleus pulposus) kann die größte Mobilität zugeordnet werden.

Da an der HWS das Zentrum des Nucleus pulposus hinter der "mittleren" Höhe liegt, bewirkt die Lateralflexion der Segmente C_{3/4} bzw. C_{4/5} jüngerer Menschen - bei vorhandenem oder auftretendem Horizontal- und Uncovertebralspalt - an dieser Stelle eine intradiscscale Massenverschiebung unter die uncovertebralen Bänder der unbelasteten Seite. Nucleus-pulposus-Anteile vor der "mittleren" Höhe besitzen nicht eine solche Verlagerbarkeit. Erstaunlich bleibt die u. U. vorhandene gute Mobilität der Bandscheiben von über 60jährigen Individuen.

Die Flexion (C_{5/6}) läßt bei unserem Versuchsaufbau größere Bewegungsausschläge als die Extension (C_{6/7}) zu. Flexionsversuche führten in mehreren jüngeren Bandscheiben zu einem intradiscalen Vorfall unter das hintere Längsband. Die Beweglichkeit der älteren Disci ist, zumeist aufgrund eines wenig quellbaren Gallertkerns, eingeschränkt, obgleich eine

durchaus beachtliche ($\rightarrow$ 62 J.) Mobilität erreicht werden kann.

Die Extension verursacht bei Bandscheiben jüngerer Individuen mit intaktem Faserring und bei älteren, völlig zerstörten Bandscheiben eine nur geringe Mobilität. Ein weitgehend gesunder Gallertkern prolapiert allerdings durch gerissene Faserringlamellen.

Die gewebliche Angleichung der einzelnen Bandscheibenanteile im hohen Alter nivelliert die oben beschriebene Lageabhängigkeit der Discusbeweglichkeit.

Die Untersuchungen an 21 Halswirbelsäulen zur Anatomie des cervikalen Bewegungssegmentes führten zu folgenden Ergebnissen:

Sagittalabmessungen unserer Bandscheibenpräparate ergeben eine stärkere Abnahme der hinteren und "mittleren" Höhe im fortgeschrittenen Lebensalter.

Die steilsten und größten Proc. uncinati besitzt der 6. HWK. Die Proc. uncinati werden im Durchschnitt in ihrem hinteren Drittel niedriger. Von kranial nach kaudal wechselt der Proc. uncinatus von einer mehr lateralen Position (Übergang bei C₆) auf den dorsolateralen Anteil des Wirbelkörperperrandes über.

Die uncovertebralen Bandverbindungen setzen sich aus stärkeren ventrolateralen Faserzügen, die ihren Ursprung zum Überwiegenden Teil von der Vorderseitenfläche des jeweils höher gelegenen Wirbelkörpers nehmen, und aus schwächeren nicht in Verbindung mit dem hinteren Längsband stehenden dorsolateralen Faserzügen zusammen. In diesem Bandsystem ergibt sich eine schwache Stelle zumeist am höchsten Punkt des Proc. uncinatus.

Wir konnten inkonstante mediale Fixationen der A. vertebralis in den Foramina transversaria nachweisen.

Es finden sich mächtige Spannfasern zwischen Gelenkkapsel und Ganglion spinale bzw. Nervenstamm.

Außerdem wurden noch Untersuchungen an 10 Lendenwirbelsäulen zur Anatomie des lumbalen Ligamentum longitudinale posterius durchgeführt. Es zeigt einen lateralen Bandansatz an den Bogenwurzeln der Wirbelkörper sowie eine Konzentration seiner Fasern auf die untere Hälfte der Bandscheiben.

F. Tabellarischer Anhang

Alter u. Geschl.	Todesursache	Röntgenologische Beschreibung			
		C _{6/7}	C _{5/6}	C _{4/5}	C _{3/4}
77 w	Co-Vergiftung	Verknöcherung eines Uncovertebralabschnittes	Deckplattensklerose, m. Kalkschatten, Spond. uncovert.	leichte Spond. ventr. und uncovert.	—
62 m	Herzbeutelamponade	schwere Spond. uncovert., Kalkschatten, Deckplattensklerose → starke Erniedr. der Bsch.	leichte Spond. ventr. (Ausziehung des vord. unt. Randes des oberen Wirbelkörpers	minimale Spond. uncovert., Kalkschatten im vord. Bsch. drittel	leichte Spond. ventr., Spond. uncovert. vor allem einseitig
61 m	E 605-Vergiftung	Spond. ventr., Deckplattensklerose, beginnende Verknöcherung eines Uncovertebralabschn.	Bandscheibe knöchern durchbaut, angrenzende Wirbelkörpersklerose, Wirbelkörpergrenzen aber noch zu erkennen	oberer Rand d. unt. WK sklerotisch verändert, Spond. uncovert. beidseitig	Spond. uncovert. beidseitig
56 m	Schlafmittelvergift.	Kalkschatten im vord. Längsband und im vord. Bsch. drittel	sehr schmaler Intervertebralspalt, flach gelegte proc. unc., Verkalkungen, Spond. ventr.	große Verkalkungszone im nucleus, Spond. ventr.	—

Tab. 1 a Untersuchungsmaterial

Alter u. Geschl.	Todesursache	Röntgenologische Beschreibung			
		C _{6/7}	C _{5/6}	C _{4/5}	C _{3/4}
45 m	Ersticken	Spond. ventr., Spond. uncovert. einseitig, Kalkschatten im vord. Bsch. drittel	leichte Spond. ventr.	Spond. ventr. mit Kalk im vord. Längsband, leichte Spond. uncovert., Kalk im vord. Bsch. drittel	leichte Abrundung der vord. oberen Kante d. unteren Wirbelkörpers
42 m	Lungenembolie	Kalkschatten im vord. Längsband, Abrund. der vord. oberen Kante des unt. Wirbelkörpers	—	—	kein Befund
36 w	Schlafmittelvergift.	Abrundung der vord. oberen Kante des unteren Wirbelkörpers	Kantenabrundung	—	kein Befund
35 m	Schlafmittelvergift.	wie bei 36	kein Befund	minimale Spond. uncovert.	—

Taf. 1 b Untersuchungsmaterial

Alter u. Geschl.	Todesursache	Röntgenologische Beschreibung			
		C _{6/7}	C _{5/6}	C _{4/5}	C _{3/4}
32 m	Schlafmittelvergift.	kein Befund	kein Befund	kein Befund	kein Befund
31 w	Schlafmittelvergift.	kein Befund	kein Befund	kein Befund	kein Befund
23 w	Asthmatischer Anfall	kein Befund	kein Befund	kein Befund	kein Befund
18 m	Stromunfall	—	kein Befund	kein Befund	—
18 m	Drogenmißbrauch	kein Befund	kein Befund	kein Befund	—
56 m	Schlafmittelvergift.	C_{7/Th₁} Kalkschatten im vord. Bsch. drittel proc. unc. vorhanden			

Tab. 1 c Untersuchungsmaterial

Alter und Geschlecht	Abstand proc. unc. in cm		Bandscheibentiefe in cm	
	C _{3/4}	C _{4/5}	C _{6/7}	C _{5/6}
77 w	-	2,6	2,0	2,0
62 m	2,5	2,7	2,1	2,0
61 m	3,4	3,2	2,3	2,1
56 m	2,5	2,7	2,0	2,2
45 m	2,4	2,6	2,0	1,9
42 m	2,2	2,5	2,0	2,0
36 w	2,1	2,3	1,7	1,6
35 m	2,5	2,4	1,6	1,6
32 m	2,4	2,5	1,7	1,7
31 w	2,4	2,7	1,8	1,7
25 m	2,5	2,6	1,7	1,7
23 w	2,3	2,4	1,8	1,7
18 m Str.	-	2,7	1,9	1,8
18 m Dr.	-	2,3	1,8	1,7

Tab. 2 Die Abmessungen der einzelnen Segmente zur prozentualen Bestimmung der Mobilität

C_{3/4} → Lateralflexion (Seitbeugung)

Alter	Koordinaten			Wanderung zur unbelast. Seite in mm (%-Angaben bezog. auf halben proc. unc. Abstand)		
	x	y	z	1	2	3
62	0	-2	+1	0	0	0
61	a) +1	-1	-5	0	0	1 (5,8%)
	b) +1	-1	0	3	4	5 (29,4%)
45	0	-1,5	-3,5	0,5	1	1 (8,3%)
42	0	-1	+1	0	3	7 (63,6%)
36	a) -1	0	+2	1	1	2 (19,0%)
	b) -1	-1	0	1	2,5	3,5 (33,3%)
32	0	-2	+1	2	6	7 (58,3%)
31	0	-1	-2,5	1	2	2 (16,6%)
23	+3	0	-1,5	0,5	5	8 (69,5%)

Tab. 3 Mobilität des Segmentes C_{3/4} bei Lateralflexion

(1 = nach 3 min mit 50 kp;

2 = nach Erhöhung auf 100 kp und weiteren 3 min;

3 = nach 60 min mit 100 kp)

C_{4/5} → Lateralflexion (Seitbeugung)

Alter	Koordinaten			Wanderung zur unbelast. Seite in mm (%-Angaben bezog. auf halben proc. unc. Abstand)		
	x	y	z	1	2	3
77	-1	0	-3	0	5	6 (46,2%)
62	0	-2	0	0	1	8 (59,2%)
61	-1	+1	-1	0	2	2 (12,5%)
56	-2	-2	+1	0	1	1 (7,4%)
	+3	-2	0	0	1	1
45*	+1	-1	-1	2	10	11 (84,6%)
35	+1	-2	-2	0	1	1 (8,3%)
32	0	-1	-1	5	11	13 (100,0%)
31	+1	-1	0	2	2	3 (22,2%)
23*	0	0	+3	1	2	2 (16,6%)
	+2	0	-2	6,5	9	9 (75,0%)
18 Strom	+2	+1	+1	0	1	2 (14,8%)
18 Drogen	0	-2	-2	1	1,5	2 (17,3%)

Tab. 4 Mobilität des Segmentes C_{4/5} bei Lateralflexion (Bezirkerung 1, 2 und 3 siehe Tab. 3.)

* Foto

C_{5/6} → Flexion (Vorwärtsbeugung)

Alter	Koordinaten			Wanderung zur unbelast. Seite in mm (%-Angaben bezog. auf halbe Bandscheibentiefe)		
	x	y	z	1	2	3
77	a)	0	+1	1	2	2 (20,0%)
	b)	0	+1	0	0	1 (10,0%)
62		1,5	-1	0	3	5 (50,0%)
61	a)	0	0	0	0	1 (9,5%)
	b)	0	0	0	0	1 (9,5%)
56		0	-1	0	0	0
45	a)	1	0	2	9	9 (94,7%)
	b)	1	-1,5	1	6	8 (84,2%)
36		0	0	0	1	Bruch
35		1	-1	4	Bandscheibenvorfall	
32		1	-1	0	2	3 (35,3%)
31		1	0	1	3	6 (70,6%)
23		0	0	2	Bruch	
18 Str.		1	0	0,5	2	3 (33,3%)
18 Dro.		1	-1,5	1	6	7 (82,3%)

Tab. 5 Mobilität des Segmentes C_{5/6} bei Flexion (Bezifferung 1, 2 und 3 siehe Tab. 3.)

* Foto

C 5 / 6 → Flexion

Alter	Kantenabstand vorne in mm				Kantenabstand hinten in mm				Mittlere Höhe in mm			
	O. B.	1	2	3	O. B.	1	2	3	O. B.	1	2	3
77	5	5	5	4	1	1	1	2	4	4	3	3
62	7	7	6	5	4	4	4	4	8	8	8	7
61	2	2	2	1,5	2	2	2	2	5	5	5	5
56	4	4	3	2,5	1	1	1	1	5	5	4	4
45	5	4	3	2,5	3	4	4	4	8	8	8	7
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	6	5	4	-	4,5	5	5	-	8	7,5	7	-
35	6	5	4	-	4	4	5	-	7	6	5,5	-
32	6	6	5	3	5	5	6	5	9	8	7	6
31	5	4	3	3	4	4	4	4	7	6	6	5
23	6	5	-	-	4	4	-	-	8	7,5	-	-
18 Strom	6	4	3	3	4	5	6	6	8	8	8	7
18 Drogen	6	5	4	3	4	3,5	3,5	3,5	7	7	7	6

Tab. 6 Das Verhalten der Bandscheibe C5/6 unter Belastung (Kantenabst. vorne bzw. hinten = vordere bzw. hintere Höhe)
(o. B. = ohne Belastung; Bezifferung 1, 2 und 3 siehe Tab. 3)

$C_6/7 \rightarrow$ Extension (Rückwärtsbeugung)

Alter	Koordinaten			Wanderung zur unbelast. Seite in mm (%-Angaben bezog. auf halbe Bandscheibentiefe)		
	x	y	z	1	2	3
77	a) 1 b) 0	0 +1	0 +4	0 0	0 0	0 0
62	a) 1 b) 5	0 0	+2 +3	0 0	1 1	3 (28,6%) 3 (28,6%)
61	a) 2 b) 1	-1 -1,5	+2 -4	0 0	2 1	2 (17,4%) 2
56	$C_7^{Th_1}$: a) 1 b) 1	-1 -2	+3 0	0 0,5	0 2	0 2,5
	$C_6/7$: a) 0 b) 0	-1,5 -1,5	+7 -0,5	0 0	0,5 1,5	1 (10,0%) 2,5 (25,0%)
45	a) 0 b) 1	0 -1	0 -1	1 0,5	1 0,5	2 (20,0%) 1,5 (15,0%)
42	1	0	-2	3	4	5 (50,0%)
36	1	0	-3	1	6,5	8 (94,1%)
35	2	0	-3	1	1,5	3 (37,5%)
32	1	-2	0	0	2	2 (23,5%)
31	a) 1 b) 1	-2,5 -1	-1 -4	1 0	1,5 0	2 (22,2%) 1 (11,1%)
23	1	0	-2	0	1	1,5 (16,6%)
18	0	0	-3	0,5	1,5	1,5 (16,6%)
Drog.						

Tab. 7 Mobilität des Segmentes $C_6/7$ bei Extension (Bezifferung 1, 2 und 3 siehe Tab. 3)

Foto

C₆ / 7 → Extension

Alter	Kantenabstand vorne in mm			Kantenabstand hinten in mm			Mittlere Höhe in mm		
	O. B.	1	2	O. B.	1	2	O. B.	1	2
			3						3
77	6	6	6,5	1	1	1	6	6	5
62	5	5	4,5	1	1	1	4	4	4
61	3	3	3,5	2	1	1	6	6	5
56 C ₇ /Th ₁ C ₆ /7	4,5	4,5	5	2	2	1	6,5	6,5	6
	5	5	6	4	4	3	6,5	6	5
45	6	7	8	3	2	2	8	7,5	7
42	6	7	6,5	3	2,5	2	7	7	6,5
36	8	9	11	5	4	3	9	8	8,5
35	6	6	6,5	3	2	1,5	7	7	7
32	6	6	7	4	3	3,5	9	8	8
31	6	6	5	4	3	3	8	7	7
23	7	7	7,5	4	4	3	8	7	6,5
18 Strom									
18 Drogen	7	8	8	4	3	2,5	8	7,5	7

Tab. 8 Das Verhalten der Bandscheibe C₆/7 unter Belastung (O. B. = ohne Belastung; Bezifferung 1, 2 und 3 siehe Tab. 3)

Tab. 9 Sagittalabmessungen der Zwischenwirbelscheiben von C_{5/6} und C_{6/7}

Alter	Kantenabstand vorne in mm		Kantenabstand hinten in mm		Mittlere Höhe in mm	
	C _{5/6}	C _{6/7}	C _{5/6}	C _{6/7}	C _{5/6}	C _{6/7}
77	5	6	1	1	4	6
62	7	5	4	1	8	4
61	2	3	2	2	5	6
56	4	5	1	4	5	6,5
45	5	6	3	3	8	8
42	7	6	4	3	8	7
Durchschnitt	5	5,2	2,5	2,3	6,3	6,3
36	6	8	4,5	5	8	9
35	6	6	4	3	7	7
32	6	6	5	4	9	9
31	5	6	4	4	7	8
25	7	7	5	5	8	9
23	6	7	4	4	8	8
18 Strom	6	7	4	5	8	9
18 Drogen	6	7	4	4	7	8
Durchschnitt	6	6,8	4,3	4,3	7,8	8,4

Tab. 10 Sagittalabmessungen der Zwischenwirbelscheiben von C_{3/4} und C_{4/5}

Alter	Kantenabstand vorne in mm		Kantenabstand hinten in mm		Mittlere Höhe in mm	
	C _{3/4}	C _{4/5}	C _{3/4}	C _{4/5}	C _{3/4}	C _{4/5}
77	-	8	-	3	-	8
62	6	7	4	4	9	8
61	6	7	3	3	7	7,5
56	5	5	4	4	8	7
45	5	6	4	4	8	9
42	5	6	3	4	8	8
Durchschnitt	5,4	6,5	3,6	3,7	8	7,9
36	5	6	3	4	8	8
35	-	5	-	4	-	8
32	5	7	4	3	7	9
31	6	5	4	3	7	10
25	5	6	4	3	7	9
23	6	6	4	4	7	7
18 Strom	-	6	-	4	-	8
18 Drogen	-	5	-	3	-	8
Durchschnitt	5,4	5,8	3,8	3,5	7,2	8,4

Literatur

- AUFDERMAUR, M.: Die Spondylosis cervicalis.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis,
Bd. 17, Hippokrates-Verlag Stuttgart (1960)
- BAKKE, S. N.: Röntgenologische Beobachtungen über
die Bewegungen der Wirbelsäule. Acta radiol.
Suppl. 13 (1931)
- BENNINGHOFF/GOERTTLER: Lehrbuch der Anatomie des
Menschen. Bd. 1, 6. Aufl., Urban & Schwar-
zenberg München-Berlin (1957)
- BUDDECKE, E. / SZIEGOLEIT, M.: Isolierung, chemi-
sche Zusammensetzung und altersabhängige Ver-
teilung von Mucopolysacchariden menschlicher
Zwischenwirbelscheiben. Ztschr. Physiol. Chem.
337, 66-78 (1964)
- BUETTI-BÄUML, C.: Funktionelle Röntgendiagnostik
der Halswirbelsäule. Thieme-Verlag Stuttgart
(1954)
- CLEMENS, H.J.: Die Venensysteme der menschlichen
Wirbelsäule. De Gruyter Berlin (1961)
- CRONQVIST, S. et al.: Protrusion of calcified
cervical discs into the spinal canal in
children. A report of two cases. Neuro-
radiology 9 (4), 223-225 (1975)
- DE PALMA, A./ROTHMAN, R.: The Intervertebral Disc.
Saunders Company Philadelphia (1970)
- Disease of the Intervertebral Disc. Orthop. Clin.
North Am. 2 (1971)
- DREXLER, L.: Röntgenanatomische Untersuchungen über
Form und Krümmung der Halswirbelsäule in den
verschiedenen Lebensaltern. Die Wirbelsäule
in Forschung und Praxis, Bd. 23, Hippokrates-
Verlag Stuttgart (1962)
- ECKLIN, U.: Die Altersveränderungen der Halswirbel-
säule. Springer-Verlag Berlin (1960)
- EXNER, G.: Die Halswirbelsäule. Thieme-Verlag Stutt-
gart (1954)
- : Die pathologische Anatomie und klinische
Wertigkeit beim Zervikalsyndrom. Beitr. Orthop.
17, 620-623 (1970)
- FELTEN, H.: Anordnung und Bedeutung der intraspinalen
Rückenmarkaufhängung. Die Wirbelsäule in For-
schung und Praxis, Bd. 5, 19-30, Hippokrates-
Verlag Stuttgart (1958)
- FENLIN, J.R.: Pathology of Degenerative Disease of
the Cervical Spine. Orthop. Clin. North Am. 2,
371-387 (1971)

- FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. I. Teil: Anatomie der Gelenke, Fischer-Verlag Jena (1904), II. Teil: Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik. Fischer-Verlag Jena (1910), III. Teil: Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. Fischer-Verlag Jena (1911)
- FRIEDENBERG et al.: Degenerative Changes in the Cervical Spine. J. Bone Jt. Surg. 41A, 61-70 (1959)
- FRYKHOLM, R.: Deformities of dural pouches and strictures of dural sheaths in the cervical region producing nerve-root compression. J. Neurosurg. 4, 403 (1947)
- : Lower cervical vertebrae and intervertebral discs. Surgical anatomy and pathology. Acta Chir. Scand. 101, 345 (1951)
- : Cervical epidural structures, periradicular and epineural sheaths. Acta Chir. Scand. 102, 10 (1951)
- : Cervical nerve-root compression resulting from disc degeneration and root-sleeve fibrosis. Acta Chir. Scand. Suppl. 160 (1951)
- GROH, H.: Die Belastung der Bandscheiben der Wirbelsäule. Deutsches Ärzteblatt Nr. 13, 746-749 (1968)
- Handbuch der Med. Radiologie Bd. IV/1, 509-513 Springer-Verlag Berlin (1970)
- HARTMANN, F.: Pathophysiologie der Zwischenwirbelscheibe. In: Wirbelsäule und Nervensystem. Thieme-Verlag Stuttgart (1970)
- HASSLER, O.: The human intervertebral disc. Acta Orthop. Scand. 40, 765-772 (1969)
- HASUE, M./ITO, R./SUZUKI, N.: Circulatory Dynamics of the Epidural Space in Cervical and Lumbar Disk Lesions. Clin. Orthop. 89, 129-138 (1972)
- HATT, M.U.: Höhenlokalisation der cervikalen Diskushernie in Klinik, Elektromyographie (EMG) und Myelographie. Dtsch. Z. Nervenheilk. 197, 56-65 (1970)
- JUNGHANNS, H.: Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. Thieme-Verlag Stuttgart (1968)
- KAISER, G.: Halswirbelsäule und Hals-Nasen-Ohren-Erkrankungen. Beitr. Orthop. 21, 137-142 (1974)
- KEYES, D.C./COMPÈRE, E.L.: The normal and pathological physiology of the nucleus pulposus of the intervertebral disc. An anatomical, clinical and experimental study. J. Bone Jt. Surg. 14, 897 (1932)

- KRÄMER, J.: Biomechanische Veränderungen im lumbalen Bewegungssegment. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 58, Hippokrates-Verlag Stuttgart (1973)
- KRAYENBUHL, H./ZANDER, E.: Über lumbale und zervikale Diskushernien. Docum. Rheum. Geigy 1 (1953)
- KUHLENDahl, H./KUNERT, W.: Röntgenologisch-klinische Studien zur Pathologie der Halswirbelsäule. Die Medizinische 14, 449-453 (1954)
- : Der Aussagewert des Röntgenbildes der Halswirbelsäule. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 28, Hippokrates-Verlag Stuttgart (1964)
- KUNERT, W.: Halswirbelsäule und Durchblutungsstörungen im Vertebralis-Basilaris-Stromgebiet und ihre klinischen Erscheinungen. In: Wirbelsäule und Nervensystem. Thieme-Verlag Stuttgart (1970)
- : Wirbelsäule und Innere Medizin. Enke-Verlag Stuttgart (1975)
- KYSELKA, R./SCHRAMM, G.: Biochemische Untersuchungen am Bandscheibengewebe. Beitr. Orthop. 17, 616-618 (1970)
- LANGMAACK, B.: Druck- und Schlagversuche an Leichenlendenwirbelsäulen. Z. Anat. 118, 20-27 (1954)
- LANZ, T. v.: Zur Struktur der Dura mater spinalis. Anat. Anzeiger. Erg. H. 66, 78 (1928)
- : Über die Rückenmarkshäute. Roux' Arch. 118, 252 (1929)
- LAROCCA, H.: New Horizons in Research on Disc Disease. Orthop. Clin. North Am. 2, 521-531 (1971)
- LINDEMANN, K./KUHLENDahl, H.: Die Erkrankungen der Wirbelsäule. Enke-Verlag Stuttgart (1953)
- LUSCHKA, H.: Die Nerven des menschlichen Wirbelkanals. Laupp Tübingen (1850)
- : Die Halbgelenke des menschlichen Körpers. Reimer Berlin (1858)
- MARVEL, J.P.: The Clinical Syndromes of Cervical Disc Disease. Orthop. Clin. North Am. 2, 419-433, (1971)
- MORRIS, J.M.: Biomechanics of the Spine. Arch. Surg. 107, 418-423 (1973)
- MÜNCHINGER, R.: Die auf die Wirbelsäule wirkenden mechanischen Kräfte. In: Belart, W.: Rheumatismus in Forschung und Praxis, Bd. 2, Huber Bern (1964)
- NACHEMSON, A.: Measurement of intradiscal Pressure. Acta Orthop. Scand. 28, 269 (1959)

- NAYLOR, A.: The Biochemical Changes in the Human Intervertebral Disc in Degeneration and Nuclear Prolapse. Orthop. Clin. North Am. 2, 343-358 (1971)
- PALACIOS, E. et al.: Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament Associated with a Herniated Intervertebral Disk. Radiology 100, 313-314 (1971)
- PARKE, W.W./SCHIFF, D.C.M.: The Applied Anatomy of the Intervertebral Disc. Orthop. Clin. North Am. 2, 309-324 (1971)
- RATHCKE, L. : Zur normalen und pathologischen Anatomie der Halswirbelsäule. Dtsch. Z. Chir. 242, 122-137 (1934)
- RAUBER/KOPPSCH: Töndury, G.: Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Bd. 1, Thieme-Verlag Stuttgart (1968)
- REISCHAUER, F.: Untersuchungen über den lumbalen und cervikalen Bandscheibenvorfall. Thieme-Verlag Stuttgart (1949)
- SCHENK, R.: Funktionelle Anatomie der Wirbelsäule. In: Belart, W.: Rheumatismus in Forschung und Praxis, Bd. 2, Huber Bern (1964)
- SCHLÜTER, K.: Spannungsoptische Modellversuche zu den Rißformen im Bereich der Zwischenwirbelscheibe. Fortschr. Med. 82, 155-159 (1964)
- SCHMINCKE, A./SANTO, E.: Zur normalen und pathologischen Anatomie der Halswirbelsäule. Zbl. allg. Path. 55, 369 (1932)
- SCHRÖTER, G.: Die Bedeutung von außergewöhnlicher Haltung und Belastung für die Entstehung von Abnutzungsschäden der Wirbelsäule. Beitr. Orthop. 18, H. 5 (1971)
- SCOVILLE, W.B./DOHRMANN, G.J./CORKILL, G.: Late results of cervical disc surgery. J. Neurosurg. 45, 203-210 (1976)
- SÈZE, S. de/DJIAN, A./ABDELMOULA, M.: Röntgenologische Untersuchungen der Dynamik der Halswirbelsäule in der Sagittalebene. Rev. Rhum. 18, 111 (1951); ref. Dtsch. med. Wschr. 187 (1952)
- SOBOTTA/BECHER: Atlas der Anatomie des Menschen. Bd. 1, 17. Auflage, Urban & Schwarzenberg München-Berlin-Wien (1972)
- SPALTEHOLZ, W.: Handatlas der Anatomie des Menschen. Bd. 1, 10. Aufl., Hirzel-Verlag Leipzig (1921)
- SPALTEHOLZ/SPANNER: Handatlas der Anatomie des Menschen. Teil 1, Scheltema u. Holkema Amsterdam (1966)

- SPURLING, R.G.: Lesions of the Cervical Intervertebral Disc. Springfield (1956)
- STOFFT, E.: Die funktionellen Strukturen des Ligamentum longitudinale anterius. Inaugural-Dissertation Mainz (1966)
- : Das Ligamentum longitudinale posterius in funktionell-anatomischer Sicht. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 40, 96-103, Hippokrates-Verlag Stuttgart (1968)
- : Der Bandapparat der Halswirbelsäule und seine funktionelle Bedeutung. Physik. Med. 11, 133 (1970)
- TESTUT, L.: Traité D'Anatomie Humaine. Bd. 1, 2. Aufl., Octave Doin Paris (1893)
- TÖNDURY, G.: Zur Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Wirbelsäule mit besonderer Berücksichtigung der Altersveränderungen der Bandscheiben. Schweiz. med. Wschr. 85, 825 (1955)
- : Entwicklungsgeschichte und Fehlbildungen der Wirbelsäule. In: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 7, Hippokrates-Verlag Stuttgart (1958)
- : Die Lebenskurve der Zwischenwirbelscheiben. In: Wirbelsäule und Nervensystem. Thieme-Verlag Stuttgart (1970)
- TROSTDORF/STENDER: Wirbelsäule und Nervensystem. Thieme-Verlag Stuttgart (1970)
- VOGELSANG: Die zervikale Diskographie. Nervenarzt 46, 337-342 (1975)
- VOSSSCHULTE, K./BÜRGER, G.: Anatomische und funktionelle Untersuchungen über den Bandscheibenprolaps. Langenbecks Arch. 265, 329 (1950)
- ZUKSCHWERDT, L./EMMINGER, E./BIEDERMANN, F./ZETTEL, H.: Wirbelgelenk und Bandscheibe. Hippokrates-Verlag Stuttgart (1955).

Lebenslauf

geb.: 03.07.1952
in: Rostock
Vater: Wolfgang Stahl, Dipl.-Volkswirt.
Mutter: Christa Stahl, geborene Franz, Ärztin.

Ende 1952 - Februar 1957	Brandenburg
Februar 1957 - Januar 1960	Celle (1. Volksschulklasse)
Januar 1960 - August 1966	Opladen Nach der 4. Volksschulklasse Wechsel zum neusprachlichen Landrat-Lucas-Gymnasium.
August 1966 - Juni 1972	Wuppertal Besuch des mathematisch- naturwissenschaftlichen Carl-Duisberg-Gymnasiums. Abitur
Oktober 1972 - jetzt	Studium der Humanmedizin an der Universität Düsseldorf
Sommer 1974	Ärztliche Vorprüfung
Sommer 1975	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Sommer 1977	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Oktober 1977	Beginn der klinisch-praktischen Ausbildung im letzten Studienjahr.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor
Dr. J. Krämer für die freundliche Überlassung
des Themas und seine stets interessierte
Unterstützung danken.

